

**Tielaitos**

## **Muovibitumikokeilut 1997**



**Tielaitoksen  
selvityksiä  
35/1998**

Helsinki 1998

**TIEHALLINTO**  
Tie- ja  
liikennetekniikka

Tielaitoksen selvityksiä 35/1998

Muovibitumikokeilut 1997

Tielaitos  
TIEHALLINTO  
Helsinki 1998



ISBN 951-726-456-9  
ISSN 0788-3722  
TIEL 3200527  
Oy Edita Ab  
Helsinki 1998

Julkaisua myy  
Tielaitos, Kirjasto  
telefax 0204 44 2652



**Tielaitos**  
**TIEHALLINTO**  
Tie- ja liikennetekniikka  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puhelinvaihde 0204 44 150

Aiheluokka 42

Asiasanat bitumi, jätemuovi, muovi, koetiet

## TIIVISTELMÄ

Kesällä 1997 kokeiltiin maataloudesta kerätyn jätemuovin hyötykäyttöä asfaltin sideaineessa. Jätemuovista, mäntyöljypiestä ja bitumista sekoitettu muovibitumi käytettiin pääosin Keski-Suomen tiepiirissä ja lisäksi muutamissa kohteissa Kaakkois-Suomen, Hämeen ja Uudenmaan tiepiireissä. Kaikkiaan muovilla modifioitua sideainetta käytettiin kesällä 1997 noin 590 t, josta asfalttimassaa valmistettiin noin 10500 t. Koepäällysteitä tehtiin noin 118 000 m<sup>2</sup>, joka vastaa noin 16 tiekilometriä.

Kokeiluissa käytetty jätemuovi oli pääosin polyeteenia. Kerätystä jätemuovista noin 70 % oli jatkojalostukseen sopivaa. Jätemuovin lajittelu tehtiin käsityönä ja rouhinta murskaimella.

Muovisideaineet valmistettiin bitumeista B100/150, B160/220 POL ja B650/900 POL. POL-erikoisbitumia käytettiin muovisideaineen erottumisongelman helpottamiseksi. Muovipitoisuudet SMA- ja ABK-päällysteiden sideaineissa olivat 10-12 % ja PAB-B-päällysteen sideaineessa 6-8 %. Muovisideaineella SMA-massaa valmistettiin yhteensä noin 6000 t, PAB-B-massaa noin 3700 t ja ABK-massaa noin 750 t. Muovibitumilla tehdyt massat jouduttiin sekoittamaan normaalia korkeammissa lämpötiloissa massan työstettävyyden parantamiseksi.

Muovisideaineita ja niistä valmistettuja päällysteitä tutkittiin laboratoriossa ja verrattiin niiden ominaisuuksia Asfalttinormien mukaisiin sideaineisiin ja koeteillä käytettyihin vertailupäällysteisiin. Muoviasfaltin levityksessä syntyneitä päästöjä mitattiin päällystystyömaalla ja tuloksia verrattiin aikaisempiin tutkimuksiin, joita on tehty perinteistä asfalttia levitettäessä vuosina 1993-94. Levitystyöntekijöille tehtiin kyselytutkimus muoviasfaltin levitystyöstä verrattuna tavallisen asfaltin levitykseen. Muoviasfaltin kestävyyttä tutkitaan koepäällysteiden urautumista ja vaurioitumista seuraamalla.

Ennenkuin jätemuovin laajempaan hyötykäyttöön asfaltissa voidaan ryhtyä, on muoviasfaltin koostumusta ja tuotantotekniikkaa vielä kehitettävä niin, että varmistutaan sen laadusta ja käyttöturvallisuudesta.

**Key words** bitumen, waste plastic, plastic, test roads

## ABSTRACT

In summer 1997 waste plastic gathered from agricultural production was tested as an additive in binder of asphalt pavement. Reclaimed plastic was blended in bitumen by using tall oil pitch. Mostly the plastic modified bitumen was used in Keski-Suomi region of Finnish National Road Administration. Some field experiments were carried out in Kaakkois-Suomi, Häme and Uusimaa road regions too. In summer 1997 plastic modified bitumen was used about 590 t. Plastic modified asphalt mixture was made about 10500 t. Plastic modified asphalt pavement was laid about 118 000 m<sup>2</sup> which represent about 16 km of road.

Mainly the waste plastic used in summer 1997 was polyethylene. About 70 % of gathered waste plastic was suitable for the processing. The waste plastic sorting was carried out as handwork before the mechanical crushing.

The plastic modified binders were made from bitumens B100/150, B160/220 POL and B650/900 POL. The special bitumen POL was used to relieve the separating problem of plastic modified binder. The plastic content was 10-12 % in the binders used in stone mastic asphalt and in asphalt concrete. The lower plastic content 6-8 % was used in the binder of soft asphalt pavement. Altogether, plastic modified stone mastic asphalt mixture was made about 6000 t, plastic modified soft asphalt mixture about 3700 t and plastic modified asphalt concrete for base course about 750 t. To improve workability, the plastic modified asphalt mixtures were made at higher temperatures than asphalt mixtures usually.

Plastic modified binders and pavements were studied in the laboratory. The properties of them were compared with the bitumens and the pavements presented in Finnish Asphalt Specifications. The emission released during the laying work of plastic modified asphalt mixture was measured. The results were compared with the values measured during the laying work of traditional asphalt mixtures in 1993-94. The differences which the workers felt in the laying work of plastic modified asphalt mixtures were examined by the questioning. The durability of plastic modified asphalt pavements is studied by observing the rutting and defecting on the test roads.

Before the enlarged utilization of waste plastic can be started in asphalt pavements, the composition and the work technique of plastic modified asphalt mixtures need to be developed in order to achieve the constant quality of asphalt pavement and the safe working environment.



## ALKUSANAT

Tielaitos on vuosina 1992-94 kokeillut teollisuusmuovia asfaltin sideaineen lisänä muutamissa koekohteissa. Vuonna 1997 kokeiltiin maataloudesta kerätyn jätemuovin hyötykäyttöä asfaltin sideaineen lisänä.

Muovin keräilyn maataloilta järjestivät 4H-yhdistys ja K-Maatalouskauppa. Muovin käsittelystä ja modifioinnista vastasi VTT Energia. Keski-Suomen tiepiiri käytti muovibitumia päällystysurakassaan, jonka toteutti Sata-Asfaltti Oy. Päällyste- ja sideainetutkimukset on tehty VTT Yhdyskuntatekniikan laboratoriossa. Muoviasfaltin levityksessä syntyviä päästöjä tutki *Jorma Paananen* opinnäytetyönään Jyväskylän yliopistolla. Kokeilujen seuranta ja raportointia varten perustettiin projektiryhmä, jonka kokoonpano oli seuraava.

*Jorma Paananen*

*Tapio Puttonen*

*Matti Järvensivu*

*Pauli Sistonen*

*Jouni Viitanen*

*Markku Orjala*

*Lassi Hietanen*

*Janne Pinomaa*

*Markku Kivirinta*

*Laura Apilo*

*Lasse Nurhonen*

*Lasse Lähteenmäki*

*Mats Reihe*

*Kalevi Toikkanen*

*Katri Eskola*

*Tielaitos/ Keski-Suomen tiepiiri*

*Tielaitos/ Keski-Suomen tiepiiri*

*Tielaitos/ Keski-Suomen tiepiiri*

*Sata-Asfaltti Oy*

*Sata-Asfaltti Oy*

*VTT Energia*

*VTT Energia*

*Suomen Muovikartonki Oy*

*Suomen Muovikartonki Oy*

*VTT Yhdyskuntatekniikka*

*Tielaitos/ Kaakkois-Suomen tiepiiri*

*Tielaitos/ Hämeen tiepiiri*

*Tielaitos/ Tie- ja liikennetekniikka*

*Tielaitos/ Tie- ja liikennetekniikka*

*Tielaitos/ Tie- ja liikennetekniikka*

Tämän raportin kirjoittamiseen on osallistunut työryhmän jäsenten lisäksi *Patrik Lindfors* Suomen 4H-liitosta. Raportin on koonnut *Katri Eskola*.

Helsingissä heinäkuussa 1998

*Tielaitos*

*Tie- ja liikennetekniikka*

## SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	9
2 JÄTEMUOVIN KERÄYS JA KÄSITTELY	10
2.1 Maatalousmuovien keräyskokeilu	10
2.1.1 Paikallisten 4H-yhdistysten palaute ja kehittämisideat	10
2.2 Keräysmuovin käsittely	11
2.2.1 Muovin mekaaninen murskaus	11
2.2.2 Kuljetuskalusto	12
2.2.3 Huomioita	12
3 MUOVISIDEAINEEN VALMISTUS	13
3.1 Yleistä	13
3.2 Laitteisto ja raaka-aineet	13
3.3 Tuotanto	14
4 ENNAKKOTUTKIMUKSET LABORATORIOSSA	15
4.1 Sideaineiden vertailu	15
4.2 Päälystetutkimukset (AB20)	17
4.3 Koekohteiden SMA-päälysteet	19
5 KOEKOHTEET	22
5.1 SMA-päälysteet Keski-Suomen tiepiirissä	22
5.1.1 Massan valmistus	22
5.1.2 Koeosuudet ja levitystyö	23
5.1.3 Laadunvalvontatutkimukset	26
5.2 PAB-B-päälysteet Keski-Suomen tiepiirissä	29
5.2.1 Massan valmistus	29
5.2.2 Koeosuudet	30
5.2.3 Laadunvalvontatutkimukset	31
5.3 ABK-päälyste Kaakkois-Suomen tiepiirissä	33
5.3.1 Massan valmistus ja koeosuus	33
5.3.2 Laadunvalvontatulokset	34
5.4 SMA-päälyste Hämeen tiepiirissä	35
5.4.1 Massan valmistus ja koeosuudet	35
5.4.2 Laadunvalvontatulokset	35
5.5 SMA-päälysteet Uudenmaan tiepiirissä	36
6 TULOSTEN TARKASTELUA JA PÄÄTELMÄT LABORATORIOTUTKIMUKSISTA	37
6.1 Ennakkotutkimukset AB- ja SMA-massoille	37
6.2 Laadunvalvontatutkimukset koekohteissa	38
6.2.1 SMA-päälysteet	38

6.2.2 PAB-päällysteet	39
7 MUOVIASFALTIN LEVITTÄMISESSÄ SYNTYVÄT PÄÄSTÖT	40
7.1 Mittaus- ja analyysimenetelmät	40
7.1.1 Huurut ja helposti haihtuvat höyryt sekä kokonaispöly	40
7.1.2 Muut ilman epäpuhtaudet	40
7.2 Mittaustulokset ja tulosten tarkastelu	41
7.2.1 Kokonaispöly ja bitumihuurut	41
7.2.2 Helposti haihtuvat hiilivedyt	42
7.2.3 PAH-pitoisuudet	42
7.2.4 Kloorifenolit	43
7.2.5 PCDD/PCDF-yhdisteet	43
7.3 Kyselytutkimus muovipäällysteiden levityksestä	44
7.3.1 Yleistä kyselystä	44
7.3.2 Kyselyn tulokset	44
7.3.3 Johtopäätöksiä kyselytutkimuksesta	47
7.4 Tulosten vertailua	48
7.5 Päätelmät päästötutkimuksista	53
8 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	54
9 LIITTEET	58



# 1 JOHDANTO

Jätemuovia voidaan käyttää muovibitumin valmistamiseen Olli Pinomaan patentoimalla menetelmällä. Muovin ja bitumin lisäksi seoksen valmistamiseen käytetään selluloosateollisuuden sivutuotetta, mäntyöljypikeä. Tielaitos on vuosina 1992-94 kokeillut näin valmistettua muovibitumia taulukon 1 mukaisissa kohteissa.

*Taulukko 1. Tielaitoksen muoviasfalttikoeetiet 1992-94.*

Vuosi	Tiepiiri	Tierekisteriosoite	Paikka	Pituus (m)
1992	Häme	304 / 1 / 170 - 610 (vas)	Kurjenkallio-Valkeakoski, Toijala	440
	Turku	40 / 3 / 5630 - 5740 (oar/oik)	Raisio	110
1993	Turku	180 / 1 / 4291 - 4518 (vas)	Parainen	227
	KeS	69 / 5 / 0 - 7 / 0	Konnevesi	1200
1994	KeS	6452 / 1 / 1900 - 2900	Suolahti	1000
			<b>Yhteensä</b>	<b>2977</b>

Vuosien 1992-94 kokeilut olivat pienimuotoisia ja niissä jätemuovina käytettiin teollisuusmuovia. Vuonna 1997 haluttiin kokeilla, miten jätemuovin keräys maataloudesta ja hyötykäyttö asfaltin raaka-aineena onnistuu täysimittakaavaisena työnä. Näin pyrittiin saamaan kokemuksia siitä, miten prosessi kokonaisuutena toimii ja mitkä ovat maatalouden jätemuovin hyötykäytön todelliset kustannukset.

Vuosina 1992-94 toteutetuissa koe kohteissa käytetyt sideaineet ovat jäykempiä kuin vuonna 1997 käytetyt. Myös massatyypiltään vuonna 1997 kokeillut asfalttipäällysteet eroavat aiemmin kokeilluista. Vuosina 1992-94 muovibitumia käytettiin AB- ja EA-päällysteissä, kun vuonna 1997 sitä pääosin käytettiin SMA-päällysteessä. Ensimmäistä kertaa kokeiltiin muovibitumin käyttöä myös huomattavasti pehmeämmässä PAB-B-päällysteessä. Lisäksi muovibitumilla toteutettiin yksi ABK-kohde.

Tässä raportissa kuvataan jätemuovin keräily, jalostus muovibitumiksi, muovibitumin käyttö asfalttiasemalla sekä päällystyskoe kohteiden rakentaminen. Lisäksi on esitetty syntyneen asfaltin laatua kuvaavat tutkimustulokset ja koepäällysteen levitystyön aikana mitatut päästöt. Päätelmiin on kirjattu koerakentamisen aikana havaittuja ongelmia, jotka tulisi ratkaista ennen kuin jätemuovin käyttöön asfaltin lisäaineena voidaan ryhtyä.

## 2 JÄTEMUOVIN KERÄYS JA KÄSITTELY

### 2.1 Maatalousmuovien keräyskokeilu

Kesällä 1997 kokeiltiin käytettyjen maatalousmuovien keräysmallia, jossa käytännön keräilyn hoitivat Suomen 4H-liitto ja K-Maatalous. Tavoitteena oli kerätä 100-200 tonnia nesteytykseen soveltuvaa käytettyä maatalousmuovia. Kerätyt muovit olivat maatalouden aumakalvoja, kiristekalvoja, paalipusseja, lannoitteiden suursäkkejä, paalinaruja ja -verkkoja sekä pienlannoitesäkkejä. Muovit kerättiin Etelä- ja Keski-Pohjanmaan alueilta sekä Virtain kaupungin alueelta Hämeestä. Mukana oli 21 4H-yhdistystä ja 18 K-Maatalouskauppapistettä. Kokeilualue käsitti kaikkiaan 23 kuntaa.

Viljelijöille tiedotettiin keräyksestä touko-kesäkuussa paikallisviestimissä, henkilökohtaisilla kirjeillä, seinäjulisteilla sekä antamalla henkilökohtaista ja puhelinneuvontaa. Julisteen lisäksi laadittiin tiedottamisen avuksi sekä suomen- että ruotsinkielinen viljelijäesite. Asia sai kiitettävästi julkisuutta.

Muovit kerättiin alkukesällä. Keräysjakson pituus vaihteli kolmesta päivästä kolmeen viikkoon, useimmiten se oli yksi viikko. Vastaanottopisteinä toimivat K-Maatalouskaupat ja 4H-yhdistysten piensäkkien keräilypisteet. Muoveja sai tuoda keräilypisteisiin ennakoon ilmoitettuna ajankohtana ja vain ohjeiden mukaisesti pakattuna. Pääosin vastaanotto oli valvottua, mutta myös ns. kylmiä pisteitä kokeiltiin.

Keräilyn päätyttyä muovit kuljetettiin VTT Energialle Jyväskylään jalostuskokeisiin Säkkiväline Oy:n toimesta. Kertyneet pienlannoitesäkit eroteltiin 4H-järjestön piensäkkikeräykseen MP-Reuselle uusiomuovin raaka-aineeksi.

4H-järjestön osuus kokeiluhankkeessa rahoitettiin maa- ja metsätalousministeriön myöntämällä ympäristötuen kokeiluhankevaroilla.

#### 2.1.1 Paikallisten 4H-yhdistysten palaute ja kehittämisideat

Keräilyajankohtaa pidettiin pääosin melko onnistuneena. Vaikka keräily sai etukäteen runsaasti julkisuutta, oli aikaa tiedottamiselle liian vähän. Keräyksestä tulisi kertoa jo edellisenä talvena, jotta tilat voisivat varautua hyvissä ajoin toimittamaan muovit keräykseen. Tiedottamisen apumateriaalia ja ohjeistusta pidettiin hyvinä.

Vastaanottoajan pituus oli yleisesti ottaen sopiva. Lyhyttä tempauksenomaista vastaanottoa pidettiin parempana kuin jatkuvaa päivystämistä, joka vaatisi enemmän resursseja ja tilaa.



Viljelijät toimittivat muovit pääsääntöisesti ohjeiden mukaisesti ja asiallisesti pakattuina. Jonkin verran esiintyi epäselvyyttä pienlannoitesäkkien kohtalosta, mihin toivottiin tarkempaa ohjeistusta. Myös miehittämättömiin vastaanotopisteisiin toimitettu muovi oli yleensä asianmukaista. Käytetyin pakkaustapa oli suursäkkiin pakkaaminen. Yksittäisiä pyöröpaalaimella tehtyjä muovipaalejakin esiintyi. Kokeilun vaikutusta pienlannoitesäkkien saantoon alueella on vaikea arvioida. Piensäkkien talteenottoprosentti nousi jonkin verran.

Viljelijät ottivat keräyksen erittäin myönteisesti vastaan ja toiminnalle toivottiin jatkoa. Yhteistyö K-Maatalouskauppojen ja paikallisten 4H-yhdistysten kesken sujui kiitettävästi ja kokeilumallia pidettiin toimivana. Kokeilu sai erittäin paljon myönteistä julkisuutta ja tukea eri tahoilta, esim. kunnilta. Kokeiluun osallistuneet 4H-yhdistykset pitivät maatalousmuovien kierrätyksen järjestämistä merkittävänä asiana suomalaisen maaseudun ympäristönhoidon kehittämisessä.

## **2.2 Keräysmuovin käsittely**

Pohjanmaan maataloilta kerätty jätemuovi, 130 - 140 tonnia, toimitettiin VTT Energialle Jyväskylään, jossa se varastoitiin, lajiteltiin ja murskattiin. Muovin lajittelu tehtiin käsityönä. Kuormaajalla varastokasasta halliin siirretystä muovista irrotettiin ja lajiteltiin kudotut valkoiset suursäkit ja kalvomuovit erilleen. Sisäsäkit, pienet säkit ja kalvomuovi, kuten kutistekalvo ja peitekalvot syötettiin hihnakuuljettimella murskaimelle. Murskaimelta rouhe siirrettiin puhaltimen avulla kuormalavalle. Kudotut nesteytykseen sopimattomat säkit ja muovinarut kuljetettiin Erkki Salminen Oy:n jäteasemalle Jämsänkoskelle käsiteltäväksi polttoaineeksi. Jatkojalostukseen sopivaa muovia toimitetusta tavarasta oli noin kaksi kolmasosaa. Muovin nesteytykseen toimitettiin kymmenen kuormaa muovia eli noin 55 tonnia. Yksi muovimurskekuorma, 5,5 tonnia toimitettiin polttoaineeksi Imatran Voiman Rauhalahden voimalaitokselle. Käsittelemätöntä muovia on murskattu polttoaineeksi n. 60 tonnia.

Painoltaan 5,5 tonnin kuorman teko kesti kaksi, kolme päivää. Työhön osallistui pääosin kaksi henkilöä.

### **2.2.1 Muovin mekaaninen murskaus**

Muovin rouhintaan käytettiin WEIMA WLK 15/45 REF-murskainta. Koneessa on suurikokoinen täyttökoulu, joka toimii syötön puskurina ja varmistaa periaatteessa, että murskaimelle jatkuvasti riittää työstettävää materiaalia. Murskettava muovi syötettiin ylhäältä hihnakuuljettimella. Kuljetinta lastattiin käsin lajittelun tahdissa. Työstölaitteena on umpiteräksinen tela, joka toimii



roottorina ja johon terät on kiinnitetty. Roottorin pituus on 1500 mm ja halkaisija 368 mm ja siinä on 74 terää. Kone on nk. puolinopeusmurskain, jonka kierrosnopeus on 60 - 1120 r/min. Seula määrittää murskeen palakoon. Tässä käytettiin 40 mm seulaa. Seulalta rouhittu muovi siirrettiin puhaltimella kuormatilaan, joka oli täytön aikana peitetty seulapeitteellä.

Murskain toimii tehokkaasti paksua kalvoa ja esim. piensäkkejä murskattaessa. Ohut käärekalvo kiertyy murskaimen rummun ympärille. Kiertynyt kalvo irtoa, kun murskainrummun automatiikka tukoksen seurauksena muuttaa hetkeksi rummun pyörimissuuntaa tai rummulle syötetään karkeampaa, paksumpaa muovia.

Murskauksen kustannukset sisältäen murskaimen vuokran, tilavuokrat ja muut laitevuokrat sekä käsityönä tehtävän lajittelun olivat 375 mk/tonni. Kaupalliselle jäteasemalle toimitetun polttoon menneen vaikeastimurskattavan osan käsittelykustannus on 400 mk/tonni.

### 2.2.2 Kuljetuskalusto

Muovirouheen kuljetukseen käytettiin perästäpurkavaa perävaunua ja siirtolavakonttia. Kuormakontin ja perävaunun yhteinen tilavuus on noin 80 m<sup>3</sup> ja koko kuorman paino vain 5,5 tonnia.

Kuljetuskustannukset Jyväskylästä Keravalle sisältäen kaluston vuokrat ja käsittelyt murskauksen yhteydessä olivat n. 1000 mk/tonni. Korkea hinta johtuu muovin pienestä tilavuuspainosta.

### 2.2.3 Huomioita

Kierrätysmuovin keräysohje tulee olla täsmällisempi. Erityisesti pitäisi painottaa suursäkkien kudotun osan erottelua syntypaikalla ja sen ohjaamista erilleen muusta muovista. Piensäkit ja paksut kalvot ovat projektissa toteutettuun mekaaniseen käsittelyyn parhaiten sopivia, muovikanisterit auttaisivat ohuen kalvon murskausta eli kun roottorille syötetään yhtäaikaan karkeampaa muovia ohuen kalvon kanssa, terät pysyvät puhtaina ja leikkaavat tehokkaasti myös kalvoa.

Kivet, muu maa-aines ja metalliset epäpuhtaudet hidastavat käsittelyä ja saattavat vaurioittaa murskainta sekä kuluttavat teriä. Muovi pitäisi varastoida sateelta suojattuun tilaan tai kattaa kalvolla.

Kuljetuskaluston kuormauksen yhteydessä pitäisi olla mahdollisuus muovirouheen tiivistämiseen lastitilassa. Logistiikka ja työtavat eivät projektiluon-

toisessa kokeilussa luonnollisestikaan vastanneet tuotannollista toimintaa, mutta saadut kokemukset ja tulokset antavat hyvän pohjan tuotannollisen toiminnan suunnittelemiseksi.

### **3 MUOVISIDEAINEEN VALMISTUS**

#### **3.1 Yleistä**

Projektin alkuperäisenä tavoitteena oli aloittaa bitumin modifiointi toukokuun lopulla ja tuottaa muovilla modifioitua sideainetta noin 60 tonnia päivässä jatkuvatoimisella SMK 5 -laitteistolla. Rahoituspäätöksen viivästymisen ja kaventumisen takia päädyttiin rakentamaan 25 tonnin annosperiaatteella toimiva laitteisto. Laite rakennettiin Amomatic Oy:ssä touko-kesäkuussa ja sijoitettiin 23.6.97 Sipoon Talmaan, jossa putkien asentaminen laitteen ja säiliöiden välille tehtiin. Ensimmäinen sekoitus käynnistettiin 28.6.97.

Sijainnin hyvinä puolina mainittakoon vieressä toimivan Sata-Asfaltti Oy:n tuki rakentamisessa ja käytössä sekä sijainti bitumin kuljetusreitillä varrella. Sijoituspaikan huonoina puolina olivat lähinnä logistiset ongelmat muovin osalta ja pitkä etäisyys Leivonmäestä, jossa modifioitu sideaine pääosin käytettiin.

#### **3.2 Laitteisto ja raaka-aineet**

Laitteisto koostuu sekoitus-, bitumi-, mäntypiki- ja varastosäiliöistä. Sekoitussäiliö on varustettu punnitus- ja lämmöntarkkailujärjestelmällä, kolmella sekoittimella, pumpulla ja homogenisaattorilla. Varastosäiliö on varustettu kiertojärjestelmällä, josta voidaan myös tyhjentää säiliö. Kaikki säiliöt lämmitetään kevytöljypolttimilla. Kaikki putkistot varustettiin lämpösaatoilla.

Rouhittu maatalousmuovi varastoitui teltaan. Muovin syöttöjärjestelmä koostuu siilosta ja siirrettävästä ruuvikuljettimesta.

Sideaineen raaka-aineista mäntyöljypiki on selluloosateollisuuden sivutuotetta. Kesän 1997 kokeiluissa käytetty mäntyöljypiki oli peräisin Valkeakosken puunjalostustehtaalta. Mäntyöljypiki on tummaa ja lämmössä pehmenevää, huoneenlämmössä hitaasti juoksevaa nestettä. Mäntyöljypikeä käytetään teollisuudessa lisäpolttoaineena ja asfalttitöissä uusiomassojen elvyttimenä. Se on luonnossa uusiutuva aine ja täyttää sekä pohjoismaisen että kansainvälisen toksisuusvaatimuksen.



Taulukko 2. Kesän 1997 kokeilussa käytetyt raaka-aineet.

Muovi	rouhittu PE-LD -maatalouskalvo rouhittu LD -palkki
Mäntyöljypiki	puunjalostustuote
Bitumi	B 100/150 B 160/220 B 160/220 (POL) B 650/900 (POL)

Sideaineen toinen komponentti on kestopuovi tai termoelastomeeri, jolla tarkoitetaan sellaisia muoveja ja elastomeereja, joiden silloittamaton poly-meeri-rakenne sallii niiden liuottamisen ja sulattamisen. On todettu, että liuokseen sopivat käytännöllisesti katsoen kaikki kaupalliset kestopuovit ja termoelastomeerit. Kotitalouden, teollisuuden ja maatalouden jätemuovit esimerkiksi polyeteeni ja polypropeeni ja näiden seokset soveltuvat prosessiin hyvin. Prosessi sallii pesemättömien ja lajittelemattomien muovien käytön, mikä on myös yksi keskeinen etu muovien hyödyntämiselle. Kesän 1997 kokeilussa käytetyt jätemuovit olivat varsin tasalaatuisia polyeteeni-muoveja.

Sideaineen kolmas komponentti on bitumi. Se on maaöljyjalostuksen pohja-tuote, jota käytetään asfaltin sideaineena. Bitumit ovat seoksia eri aineyy-peistä kuten asfalteeneistä, hartseista, kerosiineista ja hiilivetyöljyistä. Kokei-luissa kesällä 1997 käytettiin tavallisten tiebitumien lisäksi POL-tyyppistä bitumia. Se on Neste Oy:n tuote, joka on tarkoitettu kattoeristeissä käytettä-vien polymeerimodifioitujen sideaineiden valmistamiseen. Tiebitumiksi sitä ei varsinaisesti ole aikaisemmin käytetty.

### 3.3 Tuotanto

Rouhittu jätemuovi liuotetaan mäntyöljypikeen. Eräajona liuotus kesti noin 30 tuntia, minkä jälkeen saatiin nesteytettyä muovia sisältävää seosta noin 25 tonnia. Nesteytetty muovi sekoitettiin bitumin joukkoon ja sillä korvattiin noin 20 % tai 30 % bitumin määrästä. SMA-päällysteen sideaineeksi käyte-tyssä seoksessa bitumia oli noin 70 %, muovia 10-12 % ja mäntyöljypikeä 18-20 %. PAB-B-päällysteeseen käytetyssä sideaineessa bitumin osuus oli noin 80 %, muovin 6-8 % ja mäntyöljypien 12 %. Yhteenveto muovibitumin tuotannosta on esitetty liitteessä 1.

Ensimmäistä sekoitusta häiritsivät lämmitysjärjestelmän tehottomuus ja se-koituskapasiteetin vähyys. Tästä aiheutui muovin lauttaantuminen ja pro-



sessin venyminen. Uppopumppu korvattiin kahdella sekoittimella ja lämpöjärjestelmän tehoa lisättiin ennen seuraavaa sekoitusta. Ajojen 1-15 ongelmana oli käytetty bitumilaatu. Muovibitumi ei kestänyt kuljetusta erottumatta. Erottumisongelmaa helpotettiin siirtymällä POL-tyyppisen bitumin käyttöön. Ajoin 16-30 onnistuivat laadullisesti ja sekoitussuhteiden osalta hyvin.

Muovin kosteus, jonka arvioitiin liikkuvan jopa 10-30 % välillä, hidasti ja vaikeutti modifiointia. Veden keittämiseen kului aikaa ja energiaa. Kosteaa muovi holvautui siiloon, josta se oli vaikea saada ruuvikuljettimelle. Oikeat lämpötilat, oikeat seossuhteet ja oikea-aikainen raaka-aineiden lisäys tuottaa homogeenisen ja tasalaatuisen muovibitumin.

## **4 ENNAKKOTUTKIMUKSET LABORATORIOSSA**

### **4.1 Sideaineiden vertailu**

Muovibitumin koekäyttö ja ennen kaikkea muoviasfaltin mahdollinen laajempi tuotanto edellyttää sekä muovilla modifioitua bitumin että muoviasfaltin ominaisuuksien tuntemista ja vertailumahdollisuutta nykyisiin käytettyihin materiaaleihin. Ennen koeteiden rakentamista tehtiin laboratoriossa sekä sideaine- että massakokeita talven 1996-97 aikana. Tutkimusten tarkoituksena oli paitsi suunnitella koekohteet myös selvittää laajemmin muoviasfaltin ominaisuuksia ja siihen vaikuttavien muuttujien merkitystä valmiin päällysteen toiminnan kannalta. Laboratoriokokeita suunniteltaessa muoviasfaltin ominaisuuksiin arveltiin olevan merkitystä ainakin seuraavilla seikoilla:

- massatyyppejä
- pohjabitumin kovuus
- sideaineen seossuhteet: bitumi / muovi / mäntööljypiki
- muovilaatu.

Kaikkien edellä mainittujen muuttujien vaikutuksia ei ollut mahdollista selvittää laajemmin laboratoriokokeilla. Muovilaatu vakioitiin siten, että muovin koostumuksena käytettiin 85 % polyeteeniä ja 15 % polypropeenia. Vertailusideaineita tutkimuksessa oli kaksi (taulukko 3). Toisaalta haluttiin selvittää, miten muovilla modifiointi vaikuttaa suhteessa tavanomaiseen sideainevaihtoehtoon B70/100 ja toisaalta verrattuna laadukkaaseen kumibitumiin. Muovin lisäyksellä pyritään saavuttamaan samankaltaisia ominaisuuksia, joustavuutta ja palautumiskykyä, kuin kumibitumeilla.

Tutkimuksia varten laboratoriossa annoksittain valmistettujen muovibitumien ongelmana oli epätasalaaisuus, mikä ilmeni rinnakkaisnäytteistä tehdyissä sideainekokeissa poikkeuksellisen suurena hajontana. Sideainekokeissa käytettävät yksittäiset näytteet ovat pieniä, joten sideaineen epäho-

mogeenisuus paljastuu helpommin kuin massakokeissa. Koska tuotantomittakaavainen sideaineen modifiointiprosessi poikkeaa laboratorio-oloista, ei laboratoriossa valmistettujen näytteiden stabiilisuutta selvitetty järjestelmällisesti.

Taulukko 3. Muovibitumin referenssideaineiden ominaisuudet.

Ominaisuus	Vertailu 1 B70/100	Vertailu 2 kumibitumi KB75
Tunkeuma + 25°C (1/10 mm)	73	104
Pehmenemispiste (°C)	48	85
Murtumispiste, Fraass (°C)	-19	
Palautuma + 5°C (%)		73

Muovibitumeita valmistettiin jäykkyydeltään kolmesta erilaisesta bitumista sekä käyttämällä kolmea erilaista muovin ja mäntyöljypien seossuhdetta seuraavasti.

Seos I.	15 % mäntyöljypiki	Seos III.	17 % mäntyöljypiki
	10 % muovi		13 % muovi
	75 % bitumi		70 % bitumi
Seos II.	18 % mäntyöljypiki		
	12 % muovi		
	70 % bitumi		

Eri seoksille määritetyt sideaineominaisuudet on koottu taulukkoon 4. Sideainekokeet osoittivat, että B250/330- ja B160/220-pohjaiset muovibitumit jäivät käytetyllä modifioinnilla referenssinä ollutta bitumia B70/100 pehmeämmiksi. Haluttu jäykkyytaso saavutetaan valitsemalla modifioitavaksi bitumiksi B100/150.

Tulosten perusteella havaitaan, että jo pienet muutokset muovipitoisuudessa vaikuttavat huomattavasti sideaineen kaikkiin ominaisuuksiin. Muovipitoisuuden lisäys 10 %:sta 12 %:iin muutti selvästi sideaineen ominaisuuksia haluttuun suuntaan eli lämpötilaherkkyys pieneni ja joustavuus lisääntyi. SBS-modifioitujen sideaineen kaltaisia ominaisuuksia on selvästi saavutettavissa, kun muovipitoisuus on riittävän korkea. Alhaisimmalla tässä tutkituista muovipitoisuuksista (10%) sideaineen ominaisuudet muuttuivat selvästi vähemmän kumibitumin ominaisuuksia vastaaviksi. Toisaalta muovipitoisuuden kasvu jäykistää sideainetta nopeasti ja edellyttää siten esim. korkeampaa sekoituslämpötilaa. Sideaineen jäykkyys vaikeuttaa massan työstettävyyttä ja tiivistettävyyttä.



*Taulukko 4. Muovibitumeista tehtyjen bitumikokeiden tuloksia.*

Ominaisuus	B 70/ 100 seos II	B 70/ 100 seos III	B 100/ 150 seos I	B 100/ 150 seos II	B 100/ 150 seos III	B 160/ 220 seos I	B 250/ 330 seos I
Tunkeuma + 25°C (1/10 mm)	45	38	62	43	37	77	159
Pehmenemis- piste (°C)	91	105	87	97	107	102	76
Murtumispiste, Fraass (°C)	- 21		- 15	- 25		- 23	- 19
Palautuma + 5°C (%)	72		47	71		61	55
Stabiilisuus (°C)						57	60

## 4.2 Päälystetutkimukset (AB20)

Edellä tehdyn koesarjan tulosten perusteella päätettiin massakokeisiin valita pääasiallisesti käytettäväksi sideaineeksi B100/150-pohjainen muovibitumi modifioituna seoksen II mukaisesti. Myös muita, kovuudeltaan erilaisia bitumipohjia haluttiin tutkia vielä massakokeissakin, mutta tulosten vertailtavuuden parantamiseksi kaikissa sideaineissa käytettiin samaa modifiointia.

Muovibitumin vaikutuksia päällysteen suhteitukseen ja valmiin päällysteen ominaisuuksiin haluttiin aluksi selvittää yleisesti käytettävällä massatyypillä AB20. Kiviainekseksi valittiin ASTO-tutkimusten referenssikiviaines Teiskon granodioriitti, jonka käyttäytymisestä päällystekiviaineksena on runsaasti tutkimustuloksia. Käytetty kiviaineksen rakeisuus ilmenee liitteestä 2. Vertailumassoissa käytettiin samoja sideaineita kuin edellä esitetyssä sideainevertailussa. Erityisesti tutkimuksilla haluttiin selvittää muovin vaikutuksia optimisideainepitoisuuteen ja deformaatiokestävyyteen.

Sideaineen merkitys kulumiskestävyyteen ei kiviainekseen ja suhteitukseen verrattuna ole merkittävä, joten kulutuskestävyys tutkittiin vain osasta massoja.

Suhteitus tehtiin tiivistämällä näytteitä kiertotiivistimellä. Tiivistyksessä käytettiin työmääränä 102 kierrosta. Aiemmilta koeteiltä saadut kokemukset antoivat odottaa, että muovibitumia käytettäessä sideainepitoisuus voisi olla noin 0,2 %-yksikköä alhaisempi kuin muilla sideaineilla. Eri sideaineista valmistettujen massojen tiivistymisessä ei kuitenkaan ollut suuria eroja. Tila-



vuussuhteiden perusteella optimisideainepitoisuus on kaikille massoille sama, 5,2 %. Muoviasfalttien toiminnalliset ominaisuudet haluttiin kuitenkin selvittää alhaisemmalla sideainepitoisuudella 5,0 %, vaikka tyhjätilat jäivätkin suuremmiksi kuin vertailuna olleilla päällysteillä.

Taulukko 5. Eri bitumeista valmistettujen AB20-päällysteiden ominaisuuksia.

Ominaisuus	Vertailu B70/100	Kumibit. KB75	Muovibit. B100/150	Muovibit. B160/220	Muovibit. B250/330
Sideainepitoisuus (%)	5,2	5,2	5,2	5,0	5,0
Tyhjätila (%)	1,4	0,8	0,8	1,6	2,6
<b>Kuluminen</b>					
SRK-arvo (cm <sup>3</sup> )	38	36	-	-	41
<b>Deformaatio</b>					
Jaksollinen creep (%)	2,2	1,7	1,4	1,9	1,6
Pyöräurituskoee					
alku-ura (mm)	1,9	2,3	2,2	2,5	2,9
kokonaisura (mm)	4,7	3,7	4,3	4,5	7,0
<b>Vedenkestävyys</b>					
HVL <sub>vesi</sub> +10°C (kPa)	1521	1289	1282	806	625
HVL <sub>ilma</sub> +10°C (kPa)	1641	1350	1173	769	639
Kerroin vesi/ilma (%)	93	95	109	114	98
<b>Kylmäkestävyys</b>					
HVL -2°C (MPa)	3,2	3,5	3,7	2,7	2,5

Kuten jo sideainekokeet antoivat odottaa, deformatuminen pehmeimmästä sideaineesta valmistetulla muoviasfaltilla oli referensseihin verrattuna suurta. Haluttu deformaatiokestävyys saavutettiin, kun muovilla modifioitavana bitumina oli B100/150. Suhteitusta korjattiin tutkimusten edetessä siten, että tällä sideaineella käytettiin samaa sideainepitoisuutta kuin referenssimassoilla. Tällä sideaineella deformaatiokestävyys oli parempi kuin käytettäessä bitumia B70/100.

Vedenkestävyys oli kaikilla tutkituilla päällysteillä hyvä.

Kylmäkestävyyttä tutkittiin määrittämällä näytteiden halkaisuvetolujuudet -2 °C lämpötilassa. HVL-arvosta voidaan määrittää päällysteen teoreettinen halkeamislämpötila kokemuseräisesti. Mutta koska yhteys on määritetty vain modifioimattomille sideaineille, ei sitä käytetty teoreettisen halkeamislämpötilan arviointiin muovilla modifioituja sideaineita käytettäessä.

Sideaineen tarkempaan modifiointiin esim. muovilaatujen määräsuhteita tai muovin ja mäntyöljypien seossuhteita muuttamalla ei tutkimuksessa ollut mahdollisuuksia.

### 4.3 Koekohteiden SMA-päällysteet

Alustavista laboratoriokokeista poiketen Keski-Suomen tiepiirissä muoviasfaltin massatyypinä käytettiin SMA 18:a, jota tehtiin kahdella eri koneasemapaikalla. Toisella massa valmistettiin Piiparinkallion ja Kelkkamäen kalliomurskeista ja toisella kiviaineksena oli Kukkulanmäen KaM. Koska molemmilla koneasemapaidoilla tehtiin sekä muoviasfalttia että modifioimatonta päällystettä sideaineena B70/100, suhteitukset ja toiminnalliset ominaisuudet määritettiin ennakkoon laboratoriossa molemmilla sideaineilla (taulukko 6).

Taulukko 6. Keski-Suomen tiepiirin muoviasfalttikokeilun ennakkokokeet.

	1	2	3	4
Massatyyppi				
- SMA	x	x	x	x
Kiviaines				
- Piiparinkallio + Kelkkamäki	x	x		
- Kukkulamäki			x	x
Sideaine				
- B 70/100	x		x	
- B 100/150 + muovi 12 %		x		x
Täytejauhe				
- lentotuhka	x	x	x	x
Kokeet				
- ICT-suhteitus	x	x	x	x
- kulutuskestävyys SRK	x	x	x	x
- deformaatiokestävyys				
jaksollinen creep NAT	x	x	x	x
pyöräuritus WT	x	x	x	x
- vedenkestävyys HVL +10 °C	x	x	x	x
- kylmäkestävyys HVL -2 °C	x	x	x	x

Muovilla modifioidun sideaineen koostumusta ei esikokeista muutettu, vaan seossuhteena käytettiin edellä sideaineiden ja AB-massojen vertailujen perusteella määritettyä. Kokeissa käytettiin Esso Oy:n toimittamia bitumeja, jotteivat ne poikkeaisi mitenkään koekohteessa käytettävistä. Bitumina laboratoriossa valmistetussa muovisideaine-erässä oli B100/150 sekä seossuhteina 18 % mäntyöljypikeä, 12 % muovia ja 70 % bitumia. Referenssideaineena käytettiin B70/100.

Kiviainesten rakeisuudet ja tiheydet selviävät liitteestä 3. Täytejauheena käytetyn lentotuhkan ominaisuudet ilmenevät taulukosta 7.

Taulukko 7. SMA-päällysteiden täytejauheiden ominaisuudet.

Ominaisuus	Lento- tuhka	Vaatus	Menetelmä
Rakeisuus			
pesuseulonta < 0,063 mm (%)	85,1	> 70 (0,063)	PANK 2102
0,002 mm raekoko (%)	< 5	< 10	PANK 2103
Tyhjätila (%)	38,7	36-44	PANK 2404
Ominaispinta-ala (m <sup>2</sup> /kg)	2,94	1 - 5	PANK 2401
Hehkutushäviö (%)	4,4	< 5	PANK 2408
Kiintotiheys (kg/m <sup>3</sup> )	2240	-	PANK 2107

Muovibitumi- ja vertailumassoille tehtiin tilavuussuhteitukset, joihin kuului kaikkien keskeisimpien toiminnallisten ominaisuuksien määrittäminen. Erityisesti haluttiin verrata päällysteiden deformaatiokestävyyttä, koska muovin lisäyksellä pyritään vaikuttamaan juuri tähän ominaisuuteen. Tilavuussuhteitus tehtiin tiivistämällä kiertotiivistimellä eri sideainepitoisuuksilla näytteitä, joista määritettiin tilavuussuhteet. Referenssipäällysteiden tilavuusominaisuudet on esitetty taulukossa 8 ja muovipäällysteiden vastaavat ominaisuudet taulukossa 9.

Taulukko 8. SMA-massojen tilavuusominaisuudet, sideaineena B70/100.

Ominaisuus	Piiparinkallio + Kelkkamäki	Kukkula- mäki	Vaati- mus	Menetelmä
Sideainepit. B70/100 (p-%)	6,3	6,1		
Koekappaleen tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	2320	2319		PANK 4112
Massan tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	2375	2362		PANK 4108
Koekappaleen tyhjätila (%)	2,3	2,0	2 - 5	PANK 4114
KAT (%)	17	16	16-20	"
TA (%)	86	87	80-90	"

Taulukko 9. SMA-massojen tilavuusominaisuudet, sideaineena muovibitumi.

Ominaisuus	Piiparink. + Kelkkam.	Kukkula- mäki	Vaati- mus	Menetelmä
Bitumipit/muovibitumi (p-%)	6,3	6,2		
Koekappaleen tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	2317	2301		PANK 4112
Massan tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	2375	2360		PANK 4108
Koekappaleen tyhjätila (%)	2,4	2,5	2 - 5	PANK 4114
KAT (%)	17	17	16-20	"
TA (%)	86	85	80-90	"

Tiivistyskokeiden perusteella tiivistettiin laboratoriojyrällä asfalttilaatat. Asfalttilaatoista poratuista näytteistä määritettiin päällysteiden toiminnalliset



ominaisuudet. Näytteissä toteutuneet tyhjätilat ja muut ominaisuudet on esitetty referenssipäällysteiden osalta taulukossa 10 ja muovipäällysteiden osalta taulukossa 11.

Taulukko 10. SMA-päällysteiden toiminnalliset ominaisuudet, B70/100.

Asfalttilaatta	Piiparinkallio + Kelkkamäki	Kukkula- mäki	Vaatus	Menetelmä
Tyhjätila (%)	2,3	1,9	2 - 5	PANK 4114
KAT (%)	17	16	16-20	"
TA (%)	86	88	80-90	"
<b>Kuluminen, SRK (cm<sup>3</sup>)</b>	22,6	25,4	≤ 25 (I)	PANK 4209
<b>Vedenkestäv. 3 vrk +40 °C</b>				PANK 4301
HVL <sub>vesi</sub> +10 °C (kPa)	1196	1330		
HVL <sub>ilma</sub> +10 °C (kPa)	1373	1372		
kerroin vesi/ilma (%)	87	97	≥ 80	
<b>Kylmäkestävyys</b>				PANK 4302
HVL -2 °C (MPa)	2,7	3,3	≤ 2,8 (I)	
→ pakkashalkeilu (°C)	(-36)	(-32)		
<b>Deformaatiokestävyys</b>				
Jaksollinen creep (%)	2,8	2,1	≤ 3,5 (II)	PANK 4208
Pyöräuritusko				PANK 4205
alku-ura (mm)	2,2	2,3	≤ 1,5 (II)	
kokonaisura (mm)	6,3	5,1	≤ 8,0 (II)	

Taulukko 11. SMA-päällysteiden toiminnalliset ominaisuudet, muovibitumi.

Ominaisuus	Piiparink. + Kelkkam.	Kukkula- mäki	Vaatus	Menetelmä
Tyhjätila (%)	2,9	3,1	2 - 5	PANK 4114
KAT (%)	17	17	16-20	"
TA (%)	83	82	80-90	"
<b>Kuluminen, SRK (cm<sup>3</sup>)</b>	21,9	22,7	≤ 25 (I)	PANK 4209
<b>Vedenkestäv, 3 vrk +40 °C</b>				PANK 4301
HVL <sub>vesi</sub> +10 °C (kPa)	873	834		
HVL <sub>ilma</sub> +10 °C (kPa)	821	824		
kerroin vesi/ilma (%)	106	101	≥ 80	
<b>Kylmäkestävyys</b>				PANK 4302
HVL -2 °C (MPa)	1,9	2,2	≤ 2,8 (I)	
<b>Deformaatiokestävyys</b>				
Jaksollinen creep (%)	1,6	1,2	≤ 2,0 (I)	PANK 4208
Pyöräuritusko				PANK 4205
alku-ura (mm)	2,1	1,8	≤ 1,5 (II)	
kokonaisura (mm)	3,6	2,6	≤ 4,0 (I)	

## 5 KOEKOhteet

### 5.1 SMA-päällysteet Keski-Suomen tiepiirissä

#### 5.1.1 Massan valmistus

Sata-Asfaltti Oy valmisti muovibitumilla SMA-massoja kahdelta asemapaikalta heinä-elokuussa 1997.

*Taulukko 12. KeS-piirissä muovisideaineella valmistetut SMA-massat.*

Aika	sideaine (t)	bitumi- tyyppi	sideaineen muovipit. (%)	massa- määrä (t)	sideainepit. ohjearvo (%)	asema- paikka
3.7.	22,80	B100/150	10	360	6,3	Piiparinkallio
28.7.- 22.8.	240,54	B100/150	9-12	4023,5	6,2-6,3	Kukkulamäki
25.-28.8.	53,35	B160/220 POL	9-14	815,5	6,3	Kukkulamäki
<b>SMA-massat yhteensä</b>				<b>5199</b>		

Piiparinkallion koneasemalle muovibitumia ehdittiin toimittaa vain yhden kuorman verran ja siitä massaa valmistettiin noin 360 t. Kukkulamäen koneasemalla muovibitumista SMA-massaa valmistettiin noin 4800 t. Massojen valmistus ja määrät on esitetty työmaamuistiossa liitteessä 4.

Vertailumassojen sideaineena oli B70/100, jonka ohjepitoisuus Kukkulamäen koneasemalla oli 6,1 %. Kuitua käytettiin 0,35 %, kun muovibitumilla tehdyissä massoissa sitä käytettiin vain 0,2 %. Täytejauheena kaikissa massoissa käytettiin lentotuhkaa 7-10 %.

Muovisideaineen käyttö vaati SMA-massoja sekoitettaessa normaalia (160-170 °C) korkeamman lämpötilan, 170-190 °C.

Massan valmistuksessa kohdattiin ongelmia, jotka johtuivat muovisideaineen erottumisesta kuljetuksen aikana. Sideainekuormaa varastosäiliöön purettaessa se ilmeni purkamisen hidastumisena loppua kohti. Massan valmistuksessa puolestaan sideaineen ruiskutus hidastui varastosäiliön tyhjentäessä. Bitumisuuttimia jouduttiin alussa puhdistamaan päivittäin ja lopulta ne jätettiin kokonaan pois, koska ne tukkeutuivat jatkuvasti sideaineessa esiintyneiden epäpuhtauksien vuoksi. Tämän jälkeen ruiskutusaika lyheni oleellisesti. Normaalisuuttimien tilalle hankittiin supistukset, jotka toimivat tilapäissuuttimina.

Muovisideaineen tasalaatuisuuden tarkkailua varten valmistettiin juoksevuusmittari, jonka käyttö koneasemalla aloitettiin 21.8. Mittaustulokset on esitetty työmaamuistiossa liitteessä 4.

Muovisideaineen pohjabitumi vaihdettiin 25.8. alkaen erottumisongelman helpottamiseksi. Bitumipohjaksi valittiin Neste Oy:n tuote B160/220 POL. Bitumipohjan vaihtaminen helpotti massan valmistusta koneasemalla, erottuminen ei ollut yhtä voimakasta. Muovibitumin ruiskutusajat olivat 20-30 sekuntia, siis lähellä normaalia.

Muovibitumista kertyi hiekkaa lähinnä kuljetusauton säiliöihin aiheuttaen toimintahäiriöitä sulkuventtiileissä. Myös koneasemalla oleva purkupumppu saattaa vioittua epäpuhtaan sideaineen pitempiaikaisessa käytössä. Lisäksi epäpuhtauksia kertyy sekä kuljetus- että varastosäiliöihin.

### 5.1.2 Koeosuudet ja levitystyö

Kaikki muovibitumista valmistetut SMA-koeosuudet tulivat valtatielle 4. Kukulamäen koneasemalta valtatielle 4 valmistetut koeosuudet on esitetty kuvissa 1-2. Koska muovibitumikuorman loppuosaan jouduttiin massaa valmistettaessa sekoittamaan tavallista B70/100-bitumia, ei näitä "laimennettuja" osuuksia ole laskettu koeosuuksiksi seurannan helpottamiseksi.

Massat levitettiin MPKJ-menetelmällä, jossa urautunut vanha päällyste kuumajyrsitään ja tasataan jyrsityllä massalla. Tasatulle kuumalle alustalle levitetään välittömästi uusi päällyste tavallisella asfalttilevittimellä ja tiivistetään normaalisti. Menetelmällä vanhaa päällystettä käytetään hyödyksi uutta tehtäessä ja näin säästetään lisättävää massaa. Vestonmäki-Oravasaari -kohteelle uutta massaa levitettiin  $60 \text{ kg/m}^2$  ja muille kohteille  $90 \text{ kg/m}^2$ . Perinteisin menetelmin levitettynä uutta massaa lisätään yleensä  $100 \text{ kg/m}^2$ .

Sideaineen epätasalaatuisuudesta johtuen massa muuttui päivän mittaan vaikeammaksi työstää. Massa oli jäykkää, eikä mennyt helposti levittimen perän alle. Tasaisuustuloksia tarkasteltaessa juuri loppupäivän IRI4-arvot ylittävät laatuvaatimusten raja-arvot. Massa muuttui muutaman tunnin kuluttua levityksestä kuivahkon näköiseksi ja väriltään ruskeaksi. POL-tyyppistä pohjabitumia käytettäessä työstettävyysoongelmat vähenivät ja massa oli tasalaatuisempaa. Silti massassa oli havaittavissa vielä kuivuus- ja värieroa aamu- ja iltapäivällä levitettyjen osuuksien kesken. Jyrättäessä muoviasfalttia sitä tarttui normaalia runsaammin jyrän valsseihin.





**Vt 4 Varalaskupaikka-Tammihaara, Joutsa**  
**SMA 18 / 90 kg/m<sup>2</sup> MPKJ**

222/ 230			222/ 130
	21.8.1997 <b>B 100/150 + 10,5% muovia</b> (725 m)	22.8.1997 <b>B 100/150 + 10,5% muovia</b> (557 m)	
221/ 4015			221/ 4083
	<b>B 70/100</b>	<b>B 70/100</b>	
221/ 3591			
	vasen	oikea	

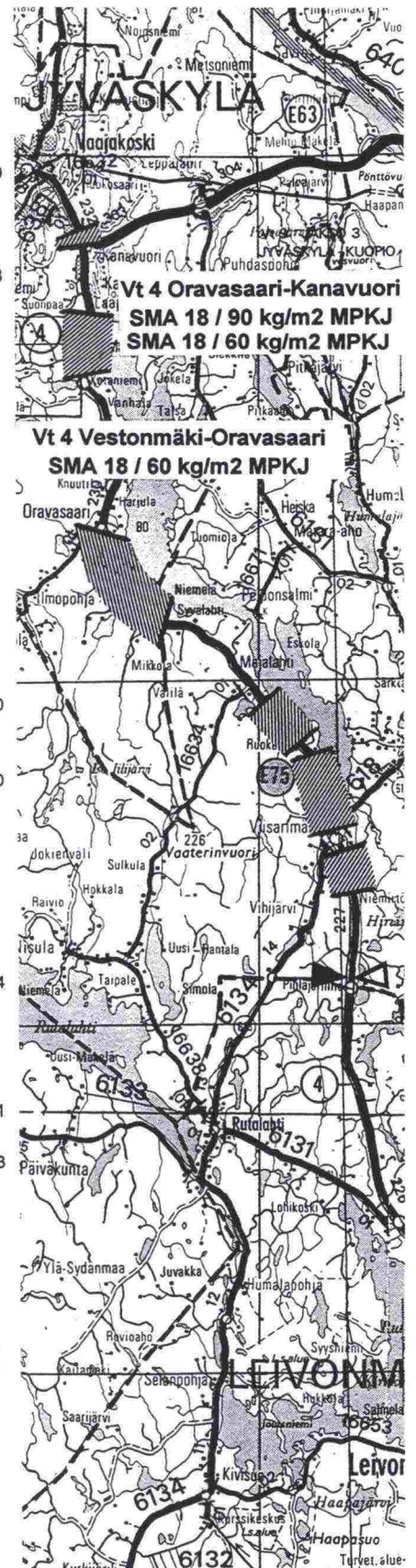
**Vt 4 Lääninraja-varalaskupaikka, Joutsa**  
**SMA 18 / 90 kg/m<sup>2</sup> MPKJ**

221/ 1046			
		<b>B 70/100</b>	
			220/ 4539
		25.8.1997 <b>B-200P+10,5% muovia</b> (699 m)	
			220/ 3840
220/ 2112			
	27.8.1997 <b>B-200P+10,5% muovia</b> (739 m)	<b>B 70/100</b>	
220/ 1373			220/ 1440
		28.8.1997 <b>B-200P+10,5% muovia</b> (492 m)	
			220/ 948
220/ -19			
	<b>B 70/100</b>	<b>B 70/100</b>	
	vasen	oikea	

Kuva 1. Muovisideaineella valmistetut koeosuudet valtatiellä 4, piirin raja - Tammihaara.



<b>Vt 4 Oravasaari-Kanavuori</b> <b>SMA 18 / 90 kg/m<sup>2</sup> MPKJ</b>		
B 70/100	18.8.1997 B-100/150 + 10,5 %muovia	232/ 155 (395 m) 231/ 4129
<b>SMA 18 / 60 kg/m<sup>2</sup> MPKJ</b>		
231/ 1184	14.8.1997 B-100/150 + 10,5 %muovia (1811 m)	231/ 1998
231/ 174	13.8.1997 B-100/150 + 10,5 %muovia (1010 m)	231/ 187
231/ 44		
<b>Vt 4 Vestonmäki-Oravasaari</b> <b>SMA 18 / 60 kg/m<sup>2</sup> MPKJ</b>		
229/ 3324		
229/ 3194	B 100/150 + 10,5 % muovia	229/ 2210
229/ 2175	11.8.97 (1019 m)	
229/ 1586	B 70/100	229/ 1440
	6.8.1997 B 100/150 + 10,5 % muovia (1751 m)	
228/ 8512		
B 70/100	4.8.1997 B 100/150 + 10,5 % muovia (1653 m)	228/ 4624
	B 70/100	228/ 2971
		228/ 2463
B 70/100	30.7.1997 B 100/150 + 12 % muovia (2261 m)	
227/ 3983		228/ 202
227/2803	28.7.1997 B 100/150 + 12 % muovia (1180 m)	
	vasen	oikea



Kuva 2. Muovisideaineella tehdyt koeosuudet valtatiellä 4, Leivonmäki - Jyväskylä.

### 5.1.3 Laadunvalvontatutkimukset

Laadunvalvontatutkimuksiin kuului sideaine-, massa- ja päällystenäytteiden tutkimista sekä valmiin päällysteen profiilimittauksia. Laadunvalvontakokeet olivat erityisesti tarpeen, koska laboratoriossa ennakkoon tutkitut massat eivät vastanneet koostumukseltaan koe kohteissa toteutuneita päällysteitä. Ennakkokokeiden tulokset tarjoavat siten mahdollisuuden vertailla muoviasfaltin ominaisuuksia modifioimattomasta sideaineesta tehdyn muutoin vastaavan päällysteen ominaisuuksien kanssa. Ennakkokokeet eivät kuitenkaan luotettavasti kerro toteutuneiden päällysteiden ominaisuuksista.

Työmaalta saadut kokemukset antoivat aiheen epäillä muovibitumin ja siitä valmistetun muoviasfaltin tasalaatuisuutta kuljetuksen jälkeen. Laadunvalvontatutkimusten yhtenä tarkoituksena oli selvittää mahdollisten sideaineen laatu vaihtelujen suuruus ja sen merkitys päällysteen ominaisuuksiin. Koska koepäällysteissä käytetyn sideaineen koostumus on lisäksi erilainen kuin ennakkokokeissa käytetyn muovibitumin, oli syytä selvittää päällysteissä toteutuneet ominaisuudet, lähinnä deformaatiokestävyys ja kylmäkestävyys.

Koska muoviasfaltilla pyritään korkealuokkaisilla päällysteillä deformaatiokestävyyden parantamiseen, selvitetään seurantamittauksilla koepäällysteiden urautumista. Massa- ja päällystenäytteet otettiin ja seurantamittaukset tehtiin samoilta koeosuuksilta, jotka on esitetty taulukossa 13. Mukaan on valittu myös 22.8. tehty osuus, jonka sideaine tiedettiin erottuneeksi. Tämän takia sideaineen muovipitoisuuden suuruus aamu- ja iltapäivänäytteissä on arvio. Tämä osuus otettiin kuitenkin seurantaan mukaan, jotta voitaisiin edes karkeasti yrittää arvioida pohjabitumin kovuuden vaikutusta päällysteen ominaisuuksiin.

*Taulukko 13. Koeosuudet, jotka valittiin jatkoseurantaan ja joilta massa- ja päällystenäytteet otettiin.*

Osuus	Tierekisteri- osoite	Päällystyspäivä (aamup./ iltap.)	Bitumi	Sideaineen muovipit. (%)
1 Ref	4/ 220/ 3840...4539 oik.	25.8.	B70/100	0
2 / 3	4/ 221/ 4083...222/ 130 oik.	22.8. (ap / ip)	B100/150	8,5 *
4 / 5	4/ 220/ 1373...2112 vas.	27.8. (ip / ap)	B160/220 POL	9,5

\*) Muovisideaine-erään, jonka muovipitoisuus oli 10,5 %, lisättiin koneasemalla tavallista bitumia massaa sekoitettaessa, jolloin muovipitoisuus päällysteessä on arvio.



### Sideaineet

Muovibitumin toivotaan myöhemmin olevan vertailukelpoista SBS-modifioitujen tuotteiden kanssa. Tästä syystä laadunvalvontakokeina on käytetty suurimmaksi osaksi Asfalttinormeissa kumibitumille asetettuja luokitusominaisuuksia. Tutkimussarja sisältää seuraavat määritykset: pehmenemispiste, tunkeuma, kinemaattinen viskositeetti, palautuma, stabiilisuus ja murtumispiste.

Sideaineiden ominaisuuksien ja annoksen tasalaatuisuuden selvittämiseksi kuljetuksen jälkeen näytteitä otettiin kaksi ennen massan sekoitusta; aamupäivällä annoksen alusta ja iltapäivällä annoksen lopusta. Sideainenäytteitä otettiin koostumukseltaan erilaisista muovibitumieristä. Tällä oli tarkoitus tutkia modifioitavan bitumin ja muovin määrän vaikutuksia sideaineen erottumisherkkyteen. Näytteenottoajankohtaa kentällä ohjasivat myös työmaan havainnot ja kokemukset sideaineen jäykkyydestä.

Taulukoihin 14 ja 15 on koottu muovibituminäytteitä koskevien laadunvalvontatutkimusten tuloksia. Sideaineen käyttöpäivämäärä, näytteen oton ajankohta (kellonaika tai aamupäivä/iltapäivä) sekä modifioitun bitumin laatu ja muovin sekä mäntyöljyjen määrät on ilmoitettu tapauskohtaisesti.

*Taulukko 14. Muovibitumin laatuominaisuudet, modifioituna bitumina B100/150, muovia 10 % ja mäntyöljypikeä 20 %.*

Ominaisuus	3.7.	4.8. ap	4.8. ip	Vaatus KB75	Menetelmä
Tunkeuma 25°C (1/10 mm)	71	54	41	70 - 150	PANK-1101
Pehmenemispiste (°C)	100	54	116	≥ 70	PANK-1112
Kin. viskositeetti 180°C (mm <sup>2</sup> /s)	94	106	13 406 <sup>*)</sup>	≤ 800	PANK-1103
Palautuma 5°C (%)	52	0 <sup>**)</sup>	75	≥ 35	PANK-1502
Stabiilisuus (°C)	43	- 1	1	≤ 25	PANK-1501
Leimahduspiste (°C)	-	232	256	≥ 210	PANK-1105
Murtumispiste (°C)	-23				PANK-1110

<sup>\*)</sup> Näyte saatiin valuvaksi 210 °C:ssa

<sup>\*\*)</sup> Katkesi, venyi 1,2 mm

Muovin ja mäntyöljyjen määrää yritettiin tutkia sideainenäytteestä kvantitatiivisesti käyttäen IR (Infrapuna)-spektroskopiaa. Tällä tekniikalla saadaan materiaalin hiilivedyistä tyypilliset absorptiot materiaalin IR-spektriin tietyillä aaltoluvuilla. Bitumin, mäntyöljyjen ja muovien absorptiot osuivat spektrissä kuitenkin täysin päällekkäin, jolloin muoville ja mäntyöljyille ei löytynyt

spektreissä sellaista absorptiopiikkiä, jonka pohjalta niiden määrä voitaisiin kvantitatiivisesti selvittää. Tutkimus pysäytettiin tässä vaiheessa, koska se tulisi tehdä selvästi laajemmassa projektissa.

*Taulukko 15. Muovibitumin laatuominaisuudet, modifioituna bitumina B160/220POL, muovia 9,5 % ja mäntyöljypikeä 14 %.*

Ominaisuus	27.8. klo 6.37	27.8. klo 7.06	Vaatus KB75	Menetelmä
Tunkeuma 25°C (1/10 mm)	37	36	70 - 150	PANK-1101
Pehmenemispiste (°C)	114	115	≥ 70	PANK-1112
Kin. viskositeetti 180°C (mm <sup>2</sup> /s)	376	3780	≤ 800	PANK-1103
Palautuma 5°C (%)	75	79	≥ 35	PANK-1502
Stabiilisuus (°C)	76	18	≤ 25	PANK-1501
Murtumispiste (°C)	-20	-18		PANK-1110

### Massat ja päällysteet

Päällystemassasta otetuille näytteille tehtiin tiivistyskokeita kiertotiivistimellä. Massa lämmitettiin työmaalla toteutuneeseen tiivistyslämpötilaan. Kiertotiivistyksessä tiivistystyönä oli normaali SMA-päällysteillä käytetty tiivistyskierrosten määrä 102 kierrosta. Rinnakkaisia tiivistyskokeita tehtiin neljä. Tiivistetyistä näytteistä määritettiin halkaisuvetolujuudet +10 °C lämpötilassa kuivista (2 kpl) ja märistä (2 kpl) näytteistä vedenkestävyyden selvittämiseksi.

Massan tasalaatuisuuden selvittämiseksi massanäytteitä otettiin sideainnäytteiden tapaan samasta sideaineannoksesta sekoitetuista massoista työpäivän alussa (ap) ja lopussa (ip). Massanäytteitä otettiin kahtena työpäivänä taulukon 13 mukaisilta osuuksilta.

*Taulukko 16. SMA-massanäytteistä valmistettujen koekappaleitten tiheydet ja vedenkestävyydet.*

Ominaisuus	22.8. ap	22.8. ip	27.8. ap	27.8. ip	Menetelmä
Päällysteen tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	2309	2312	2293	2308	PANK 4114
Vedenkestävyys	1481	2101	986	1741	PANK 4301
HVL <sub>vesi</sub> +10 °C (kPa)	1409	2131	943	1637	
HVL <sub>ilma</sub> +10 °C (kPa)					
kerroin vesi/ilma (%)	105	99	105	106	

Valmiista SMA-päällysteestä porattiin näytesarjat, joista tutkittiin tyhjätilat, deformaatiokestävyys (NAT) ja kylmäkestävyys (HVL -2 °C). Yhdeksän näytteen sarjoja otettiin saman päivän aikana tehdyiltä päällysteosuuksilta



kahdesta eri kohdasta siten, että näytteet edustavat työpäivän alussa (ap) ja lopussa (ip) tehtyä päällystettä. Näytteet ovat siten samoista kohdista otettu- ja kuin massanäytteet. Lisäksi tutkittiin yksi sarja vertailupäällystettä.

*Taulukko 17. SMA-päällysteistä poratuista näytteistä määritetyt toiminnalliset ominaisuudet.*

Ominaisuus	22.8. ap	22.8. ip	27.8. ap	27.8. ip	26.8. Ref.	Menetelmä
Tyhjätila (%)	2,9	3,2	3,1	3,8	3,4	PANK 4114
Päällysteen tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	2283	2283	2295	2272	2286	
Massan tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	2351	2359	2368	2363	2367	
Kylmäkestävyys						
HVL -2 °C (MPa)	2,9	2,0	2,8	2,8	3,1	PANK 4302
Deformaatiokestävyys						
Jaksollinen creep (%)	2,1	1,3	1,8	1,5	1,9	PANK 4208

## Seuranta

Päällysteiden deformaatiokestävyyden selvittämiseksi urautumista seurataan profilometrimittauksin. Mittaukset on tehty VTT:n Mapvision profiilimittausautolla. Mittaukset tehdään samoilta taulukossa 13 esitetyiltä osuuksilta, joilta massa- ja poranäytteet otettiin. Kaikilla seurantaosuuksilla massamäärä on 90 kg/m<sup>2</sup>. Deformaation ja nastarenkaitten aiheuttaman kuluman erottamiseksi toisistaan mittaukset pitää jatkossa tehdä syksyllä ja keväällä.

Ensimmäiset mittaukset tehtiin lokakuun 1997 alussa. Alkumittauksista ilmenee mahdollinen jälkitiivistymisestä aiheutunut alku-ura ja mittaustulokset toimivat referenssitasona myöhemmälle urautumisen seurannalle. Deformaatiosta aiheutunutta urautumista on havaittavissa osuuksilla 2 ja 3, muilla osuuksilla ei ollut havaittavissa muutoksia. Mitatut uransyvytydet johtuvat profiilien perusteella massan jälkitiivistymisestä ja siirtymisestä poikkisuunnassa. Liitteessä 5 on esitetty mitatut uransyvytydet osuuksilta 2 ja 3 sekä kuvat uramuodosta molemmilla osuuksilla.

## 5.2 PAB-B-päällysteet Keski-Suomen tiepiirissä

### 5.2.1 Massan valmistus

Muovibitumista PAB-B-massaa valmistettiin Kukkulamäen koneasemalla 9.-22.9.97 noin 3700 t. Sideaineen muovipitoisuus oli 6-8 % ja se valmistettiin bitumista B650/900 POL. Liitteessä 4 on kuvattu massan valmistus työmaalla. PAB-B-massan valmistus aloitettiin muovisideainepitoisuudella 4,3 %.





### 5.2.3 Laadunvalvontatutkimukset

Laadunvalvontatutkimuksiin kuului sideaine-, massa- ja päällystenäytetutkimuksia. Laadunvalvontakokeet olivat erityisesti tarpeen, koska ennen PAB-B -kokeiluja laboratoriossa ei tehty lainkaan ennakkokokeita. Laadunvalvontatutkimuksilla oli mahdollisuus selvittää tehtyjen sideainevalintojen oikeellisuus ja muovin vaikutukset PAB-B:n ominaisuuksiin, lähinnä vedenkestävyyteen, pakkaskestävyyteen ja deformaatiokestävyyteen.

#### Sideaineet

Modifioitavana bitumina käytettiin Neste Oy:n tuotetta B600/900POL. Sideainenäytteet otettiin kahdesta muovibitumierästä, joissa muovipitoisuudet olivat 8 % ja 6 %. Tuotantoeräkohtaisen laadunvaihtelun määrittämiseksi sideaineista on tutkittu sekä aamu- että iltapäivällä otetut näytteet. Sideainneiden tutkimustulokset on koottu taulukoihin 18 ja 19.

*Taulukko 18. Pehmeän muovibitumin laatuominaisuudet, modifioituna bitumina B600/900POL, muovia 8 % ja mäntyöljypikeä 12 %.*

Ominaisuus	8.9.	9.9. ap	9.9. ip	Menetelmä
Tunkeuma 25°C, 1/10 mm	246	296	157	PANK-1101
Pehmenemispiste, °C	56			PANK-1112
Kin. viskositeetti 180 °C, mm <sup>2</sup> /s	285	177	194	PANK-1103
Palautuma 5 °C, %	15	6	41	PANK-1502
Stabiilisuus	80	82	83	PANK-1501
Leimahduspiste, °C	262			PANK-1105

*Taulukko 19. Pehmeän muovibitumin laatuominaisuudet, modifioituna bitumina B600/900POL, muovia 6 % ja mäntyöljypikeä 12 %.*

Ominaisuus	22.9. ap	22.9. ip	Menetelmä
Tunkeuma 25°C, 1/10 mm	310	113	PANK-1101
Pehmenemispiste, °C	31	109	PANK-1112
Kin. viskositeetti 135 °C, mm <sup>2</sup> /s	171	761	PANK-1103
Palautuma 5 °C, %	7	62	PANK-1502
Stabiilisuus	84	86	PANK-1501
Murtumispiste, °C	-29	-32	PANK-1110

Sideaineen ominaisuudet vaihtelivat näytekohtaisesti hyvin paljon, ja kaikki viisi B600/900-pohjaista tutkittua muovibituminäytettä olivat sekä kovuudeltaan että elastisilta ominaisuuksiltaan selvästi toisistaan poikkeavia.

### Massat ja päällysteet

Massanäytteitä otettiin samasta sideaineannoksesta sekoitetuista massoista työpäivän alussa (ap) ja lopussa (ip). Näytteitä otettiin kahtena työpäivänä. Päällystemassasta otetuille näytteille tehtiin tiivistyskokeita kiertotiivistimellä. Massa lämmitettiin työmaalla toteutuneeseen tiivistyslämpötilaan. Kiertotiivistyksessä tiivistystyönä käytettiin 102 työkierrosta. Rinnakkaisia tiivistyskokeita tehtiin neljä. Tiivistetyistä näytteistä määritettiin halkaisuvetolujuudet +10 °C lämpötilassa kuivista (2 kpl) ja märistä (2 kpl) näytteistä vedenkestävyyden selvittämiseksi.

*Taulukko 20. PAB-massanäytteistä valmistettujen koekappaleitten tyhjätilat ja vedenkestävyydet.*

Ominaisuus	9.9.97 8 % muovia	22.9.97 ap 6 % muovia	22.9.97 ip 6 % muovia	Ref. ei muovia	Menetelmä
Tyhjätila (%)	5,7	6,8	7,6	6,7	PANK 4114
Päällysteen tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	2314	2290	2289	2303	
Massan tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	2453	2458	2469	2468	
<b>Vedenkestävyys</b>					PANK 4301
HVL <sub>vesi</sub> +10 °C (kPa)	536	609	604	533	
HVL <sub>ilma</sub> +10 °C (kPa)	431	580	510	481	
kerroin vesi/ilma (%)	124	105	118	111	

Valmiista PAB-päällysteistä porattiin näytesarjat, joista tutkittiin tyhjätilat, deformaatiokestävyys (NAT), vedenkestävyys (HVL +10 °C) ja kylmäkestävyys (HVL -2 °C). Poranäytteet on otettu SMA-näytteiden tapaan samoilta osuuksilta kuin massanäytteet.



*Taulukko 21. PAB-päällysteistä poratuista näytteistä määritetyt toiminnalliset ominaisuudet.*

Ominaisuus	9.9.97 8 % muovia	22.9.97 ap 6 % muovia	22.9.97 ip 6 % muovia	Menetelmä
Tyhjätila (%)	12,9	13,1	12,3	PANK 4114
Päällysteen tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	2139	2135	2150	
Massan tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	2455	2455	2452	
<b>Vedenkestävyys</b>				PANK 4301
HVL <sub>vesi</sub> +10 °C (kPa)	120	113	119	
HVL <sub>ilma</sub> +10 °C (kPa)	108	77	84	
kerroin vesi/ilma (%)	111	147	141	
<b>Kylmäkestävyys</b>				PANK 4302
HVL -2 °C (kPa)	534	791	712	
<b>Deformaatiokestävyys</b>				PANK 4208
Jaksollinen creep (%)	1,7 <sup>*)</sup>	3,2 <sup>**)</sup>	3,3 <sup>*)</sup>	

<sup>\*)</sup> Yksi näyte murtui kokeen aikana. Tulos on kahden rinnakkaisen näytteen keskiarvo

<sup>\*\*) Tulos saatiin vain yhdestä näytteestä</sup>

Näytteiden valmistaminen deformaatiokokeisiin oli vaikeaa massan pehmeiden vuoksi. Osa näytteistä murtui deformaatiokokeen aikana siten, että tulosta ei saatu.

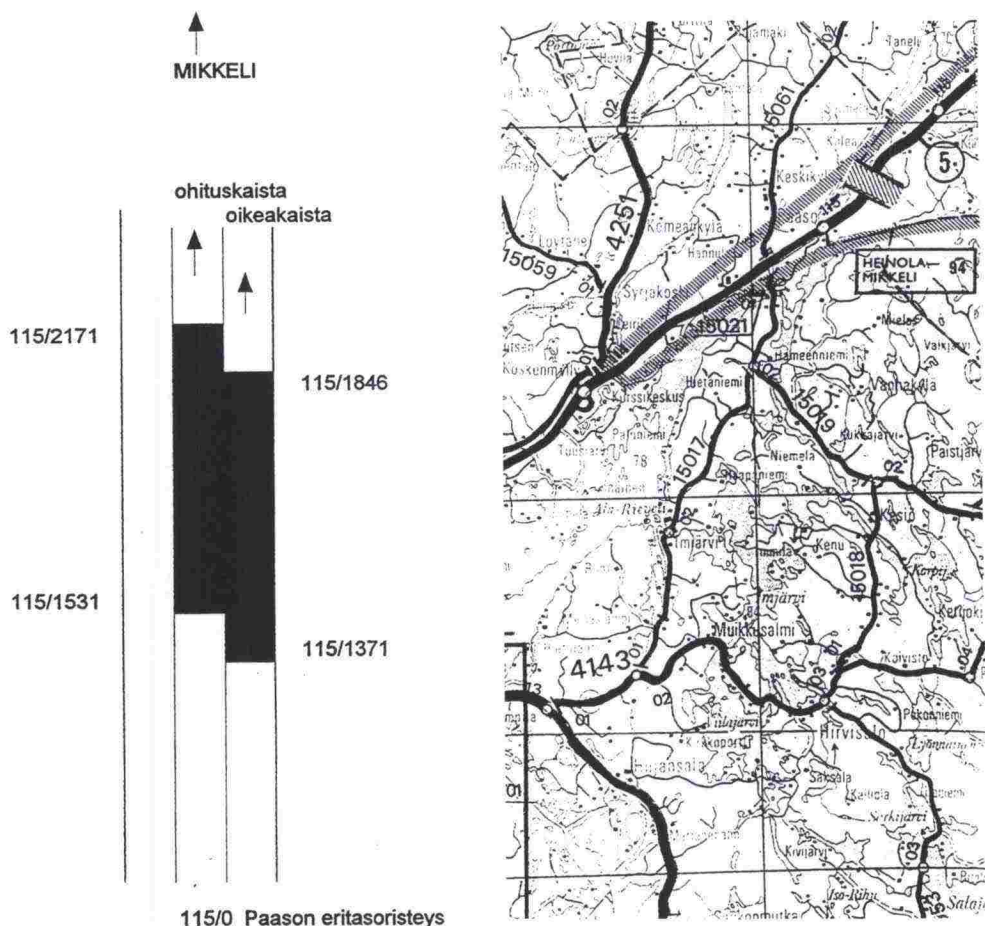
## 5.3 ABK-päällyste Kaakkois-Suomen tiepiirissä

### 5.3.1 Massan valmistus ja koeosuus

Muovibitumia kokeiltiin ABK-massan sideaineena 25.9.97 valtatiellä 5 kohteella Sallahti-Seppälänjoki, jossa ABK-pinta jäi talven ajaksi liikenteelle. Koeosuus sijaitsee noin 10 km Lusin varalaskupaikan pohjoispäästä (kuva 4). Muovibitumia saatiin koneasemalle 37,5 t ja massaa siitä valmistettiin noin 750 t. Sideaine valmistettiin bitumista B160/220 POL. Muovia sideaineessa oli 10,5 % ja mäntyöljypikeä 19,5 %.

Massan suhteitus oli vastaava kuin tavallisella bitumilla B70/100 tehtynä, paitsi kalkkifillerin pitoisuutta alennettiin muovisideainetta käytettäessä. Sideainepitoisuus oli 4,5 %. Rakeisuusmääritykset on esitetty liitteessä 6.

Massan valmistuksessa koneasemalla ei ollut vaikeuksia. Muovisideaineen käytön jälkeen samana päivänä massan valmistusta jatkettiin tavallisella bitumilla. Levitystyössä massan työstettävyys ei poikennut tavanomaisesta. Muovibitumilla tehty osuus näytti kuivemmalta verrattuna tavallisella bitumilla tehtyyn päällysteeseen.



Kuva 4. Muovi-ABK-koeosuus valtatiellä 5.

### 5.3.2 Laadunvalvontatulokset

Muovibitumi- ja vertailuosuudelta porattiin näytteet ABK-päällysteen kylmä- ja deformaatiokestävyyden tutkimiseksi. Muovisideaineen käyttäminen paransi ABK-päällysteen kylmä- ja deformaatiokestävyyttä referenssiin verrattuna.

Taulukko 22. ABK-porapaloista määritetyt toiminnalliset ominaisuudet.

Ominaisuus	B160/220 POL muovia 10,5 %	B70/100 Ref.	Vaatimus	Menetelmä
Tyhjätila (%)	4,8	4,0	2 - 8	PANK 4112, PANK 4114
<b>Kylmäkestävyys</b>				
HVL -2 °C (MPa)	2,5	3,2	≤ 2,8	PANK 4302
<b>Deformaatiokestävyys</b>				
Jaksollinen creep (%)	2,0	2,3 <sup>1)</sup>	≤ 2,0	PANK 4208

<sup>1)</sup> Yksi näyte murtui kokeen aikana. Tulos on kahden rinnakkaisen näytteen keskiarvo.



## 5.4 SMA-päällyste Hämeen tiepiirissä

### 5.4.1 Massan valmistus ja koeosuudet

Muovibitumilla valmistettiin SMA-massaa Hämeen tiepiirissä valtatielle 24 kohteelle Kymijärvi-Holma. Massan valmistuksessa 22.7.97 ei esiintynyt ongelmia. Massanäytteiden rakeisuus esitetään liitteessä 7. Muovisideaineella massaa valmistettiin 705 t pitoisuudella 6,2 %. Päällystettyä jyrättäessä esiintyi "napitusta", joka poistui käytettäessä etujyränä kumipyöräjärrä.

Muovibitumi valmistettiin bitumista B100/150. Osuudella 1 käytettiin sideaineena pelkkää muovibitumia, jonka muovipitoisuus oli 12 %, mutta osuudella 2 sitä jouduttiin sekoittamaan tavalliseen bitumiin B70/100 suhteessa 25% muovibitumia ja 75 % bitumia B70/100, jolloin laskennallisesti sideaineen muovipitoisuus olisi 3 %. Osuuksien sijainti on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Valtatien 24 muovi-SMA-koeosuudet.

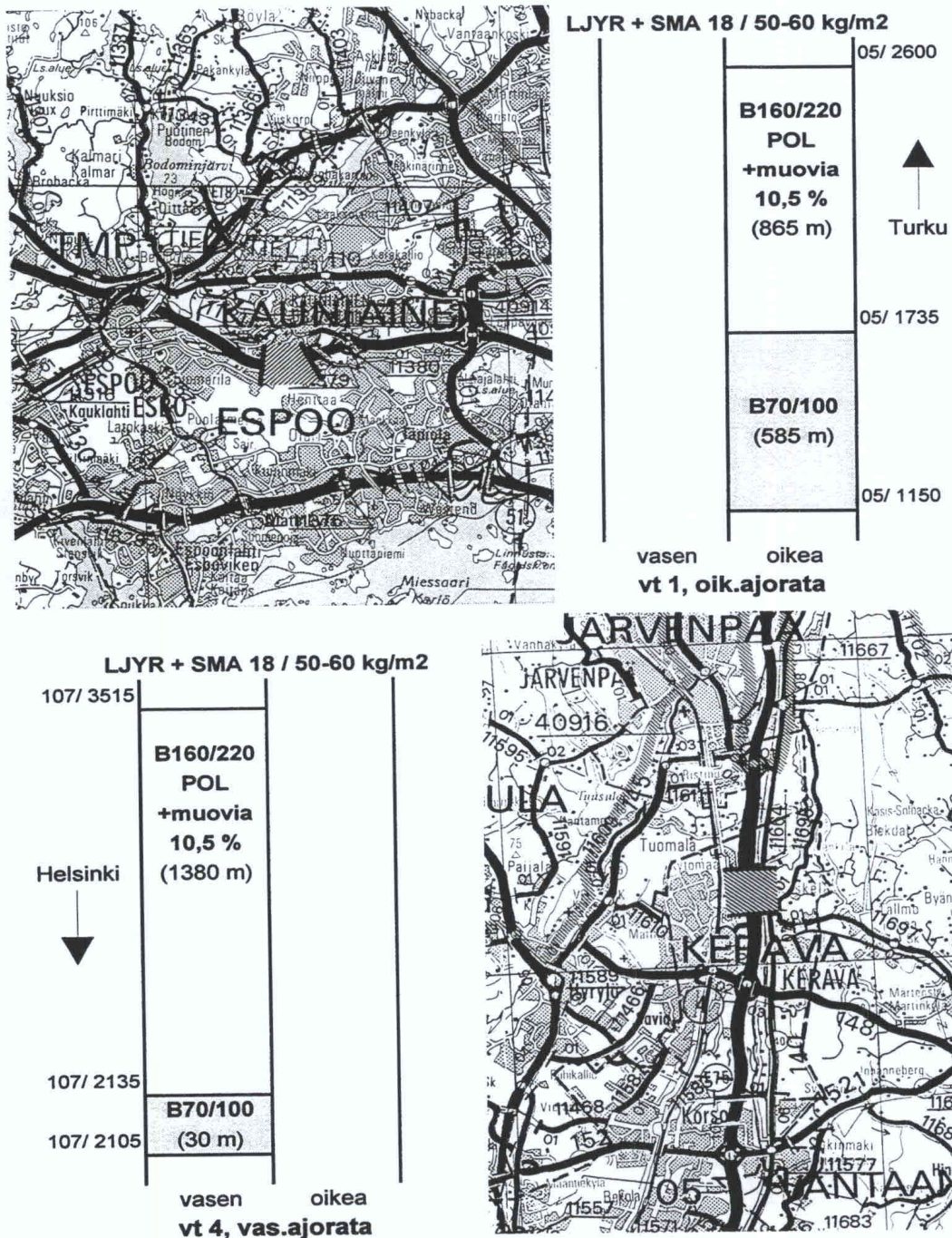
### 5.4.2 Laadunvalvontatulokset

Hämeen tiepiirin muoviasfalttikohteessa ei tehty ennako- eikä laadunvalvontatutkimuksia. Jatkoseurantaa varten koetiellä tehtiin profilometrimittaukset samalla tavalla kuin Keski-Suomen SMA-kohteessa. Molemmilla mitatuilla osuuksilla oli epätasaisuutta heti päällystämisen jälkeen. Kyse ei kuitenkaan ole varsinaisesta urautumisesta, sillä epätasaisuus sijoittui ajoneuvojen akseliväliä leveämmälle alueelle. Tulokset on esitetty liitteessä 7.



## 5.5 SMA-päällysteet Uudenmaan tiepiirissä

Muovibitumilla valmistettiin SMA-massaa Uudenmaan tiepiirissä kahdelle koeosuudelle valtateille 1 ja 4. Massat valmistettiin 16.10.97 sideaineella, joka oli tehty bitumista B 160/220 POL ja jonka muovipitoisuus oli 10,5 %. Sideainetta SMA 18 -massassa käytettiin 6 % ja kuitua 0,2 %. Koeosuudet on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Uudenmaan tiepiirin muovi-SMA-koekohteet.

## 6 TULOSTEN TARKASTELUA JA PÄÄTELMÄT LABORATORIOTUTKIMUKSISTA

### 6.1 Ennakkotutkimukset AB- ja SMA-massoille

Muoviasfaltin ominaisuuksien selvittämiseksi ja päällysteen luokittelemiseksi laboratoriokokeita on tehty sekä AB- että SMA-massoille, ja muovibitumin vaikutuksia asfaltin ominaisuuksiin on verrattu tällä hetkellä luokiteltuihin ja käytettyihin sideaineisiin. Muovibitumin laajemman käytön kannalta keskeisiä kysymyksiä ovat

- Mitkä ovat muoviasfaltin edut perinteisiin päällystevaihtoehtoihin verrattuna?
- Millaisissa käyttökohteissa ja massatyypeissä muovibitumi on parhaimmillaan?

Tässä tutkimuksessa syntynyt aineisto ei ole kovin laaja eikä siitä syystä vastaa kysymyksiin lopullisesti. Seuraavaan on koottu vilkkaasti liikennöityjen väylien päällysteiden osalta saadut tulokset.

#### Vertailu SMA18 B70/100 (referenssi) ja SMA18 muovibitumi B100/150 + 12 % muovia

- Tilavuussuhteituksen mukainen optimisideainepitoisuus muovibitumilla on sama tai 0,1 %-yksikköä korkeampi kuin referenssideaineella. Tällä suhteituksella tehdyssä SMA-päällysteessä tarvittava kuidun määrä on kuitenkin vain puolet tavanomaisesta. Sideainekulutusta voidaan säädellä kuidun määrällä.
- Muoviasfaltin kulutuskestävyys on hieman referenssipäällysteen kulutuskestävyyttä parempi.
- Muovin lisääminen parantaa vedenkestävyyttä.
- Deformaatiokestävyys on muoviasfaltilla selvästi referenssipäällystettä parempi.

#### Vertailu AB20 B70/100 (referenssi 1), AB20 KB75 (referenssi 2) ja muovibitumi B100/150 + 12 % muovia

- Tilavuussuhteituksen mukainen optimisideainepitoisuus muovibitumilla sama tai 0,1 %-yksikköä korkeampi kuin referenssideaineilla. Tällä suhteituksella tehty muoviasfaltti näytti kuitenkin hieman kuivalta.
- Muovin lisääminen parantaa vedenkestävyyttä.
- Deformaatiokestävyys on muoviasfaltilla hieman parempi kuin modifioimattomalla sideaineella tehdyssä asfaltissa, mutta huonompi kuin käytetäessä sideaineena kumibitumia.



Verrattaessa keskenään SMA- ja AB-päällysteitä havaitaan, että muovin lisäyksen positiiviset vaikutukset tulivat selvemmin esille, kun massatyypinä oli SMA. Tämä koskee kahta tutkittua toiminnallista ominaisuutta, deformaatio- ja vedenkestävyyttä.

## 6.2 Laadunvalvontatutkimukset koekohteissa

### 6.2.1 SMA-päällysteet

#### Sideaineet

Päällystystyötä aloitettaessa käytettiin muovisideaineessa bitumina B100/150, joka oli ennakkokokeissa 12 % muovipitoisuudella osoittautunut parhaaksi vaihtoehdoksi päällysteen toiminnallisten ominaisuuksien kannalta. Päällystystyötä varten valmistettu muovibitumi poikkesi ennakkoon laboratoriokokeissa käytetystä siten, että sideaineen muovipitoisuutena oli noin 10 %.

Ensimmäisestä valmistuserästä tutkittiin yksi näyte. Ennakkokokeisiin verrattuna näytteen tutkimustulokset olivat ristiriitaisia: tunkeuma ja pehmenemispiste olivat samanaikaisesti suuria. Selityksenä tähän voi olla muovin erottuminen ja sen huomioimatta jääminen näytevalmistuksessa. Pehmenemispiste on määritetty näytteestä, jossa oli paljon muovia, ja tunkeuma näytteestä, josta muovi on erottunut. Muovibitumin heikko stabiilisuus tulee selvästi esille 4.8. aamu- ja iltapäivällä otetuista sideainenäytteistä, joiden ominaisuudet poikkeavat toisistaan selvästi.

Myöhemmin siirryttiin erikoisbitumiin B160/220POL muovin erottumisongelman helpottamiseksi. Kahden puolen tunnin välein otetun näytteen analyysitulokset osoittavat kuitenkin muovin erottumista tapahtuvan myös POL-bitumissa. Näytteiden viskositeeteissa ja stabiilisuudessa oli merkittävä ero.

#### Päällysteet

Laboratoriossa massat tiivistyivät hieman paremmin kuin työmaalla. Sideaineen jäykkyydellä oli ollut vaikutusta massan tiivistyvyyteen koekohteissa, sillä iltapäivällä tehtyjen päällysteiden tyhjätilat olivat jääneet suuremmiksi kuin aamupäivällä tehtyjen päällysteiden, joissa sideaine oli pehmeämpää. Laboratoriossa valmistetuista koekappaleista määritetyt vedenkestävyydet olivat hyviä kaikilla tutkituilla massoilla. Muovin lisääminen vaikuttaa vedenkestävyyttä parantavasti.



Massanäytteistä valmistettujen koekappaleitten lujuuksissa oli selkeitä eroja. Aamupäivämassojen lujuudet jäivät pienemmiksi kuin iltapäivällä otetuista näytteistä tehtyjen koekappaleitten halkaisuvetolujuudet. Muovin erottuminen sideaineesta ilmenee myös lujuuseroina.

Muovin lisääminen paransi päällysteen deformaatiokestävyyttä. Hyvän deformaatiokestävyyden saavuttamiseen ei kuitenkaan riitä kovin alhainen muovipitoisuus. Aamupäivinä tehtyjen päällysteiden deformaatiokestävyys ei ollut lainkaan referenssipäällysteen deformaatiokestävyyttä parempi.

Valmiissa päällysteessä muovin erottuminen sideaineessa näkyy selvästi molemmilla tutkituilla sideaineresepteillä. Siirtyminen POL-bitumiin ei tässä suhteessa ratkaissut erottumisongelmaa. Iltapäivällä tehdyissä päällysteissä tutkitut toiminnalliset ominaisuudet paranivat selvästi enemmän kuin aamupäivällä tehdyissä päällysteissä eli päällysteiden ominaisuuksien muuttaminen halutulla tavalla edellyttää sideaineelta melko korkeaa muovipitoisuutta. Muoviasfaltin laadunvarmistus ja homogeenisen päällysteen tekeminen edellyttäisi, että jatkossa muovin erottuminen saadaan hallintaan.

## 6.2.2 PAB-päällysteet

### Sideaineet

Modifioitavana sideaineena käytettiin pehmeää bitumia B600/900. Pehmeällä bitumilla muovin erottumisen ongelma on edelleen selvästi havaittavissa molemmilla muovipitoisuuksilla 6 % ja 8 %, sillä samasta valmistuserästä aamu- ja iltapäivällä otetut näytteet olivat ominaisuuksiltaan selvästi erilaisia. Aamupäivällä otettujen näytteiden ominaisuudet olivat lähellä bitumia B600/900. Muovi oli erottunut iltapäivällä otettuihin näytteisiin, jotka olivat selvästi kovempia ja elastisempia. Muovin erottuminen näkyi myös viskositeettituloksissa. Kaikkien näytteiden stabiilisuus oli huono.

Kaikki sideaineiden luokitusominaisuudet vaihtelevat niin paljon, että tulosten perusteella on mahdotonta ottaa kantaa muovipitoisuuden vaikutuksiin. Tuote ei myöskään ole vertailukelpoinen minkään luokitellun bitumin kanssa eikä sen soveltuvuutta PAB-B-päällysteen sideaineeksi ole suuren laatuvarianTELUN vuoksi mahdollista arvioida.

### Päällysteet

Kiertotiivistimellä tiivistetyt massat tiivistyivät huomattavasti yli kentällä toteutuneen tiiviysasteen. Näistä näytteistä määritetyt halkaisuvetolujuudet ovat sen vuoksi huomattavasti suurempia kuin porapaloista mitatut lujuusarvot.

Molempien tulosten valossa vedenkestävyys on kuitenkin erittäin hyvä kaikilla pehmeillä muoviasfalteilla.

PAB-päälysteistä ei yleensä määritetä toiminnallisia ominaisuuksia, ja raja-arvojen asettaminen ei tästä syystä ole mahdollista. Tulokset kertovat kuitenkin muovin määrän vaikutuksesta päälysteen ominaisuuksiin. Sekä kylmä- että deformaatiokestävyydessä on selkeä ero 6 % ja 8 % muovipitoisuuksien välillä. Päälysteiden toiminnallisiin ominaisuuksiin pystytään vaikuttamaan halutulla tavalla, kun muovipitoisuus on riittävän korkea.

## **7 MUOVIASFALTIN LEVITTÄMISESSÄ SYNTYVÄT PÄÄSTÖT**

### **7.1 Mittaus- ja analyysimenetelmät**

Liitteessä 8 on esitetty mittauspäivinä vallinneet olot levitystyömaalla sekä käytetyt mittaus- ja analysointimenetelmät sekä näytteistä analysoidut ainesosat.

#### **7.1.1 Huurut ja helposti haihtuvat höyryt sekä kokonaispöly**

Huuru-, höyry- ja pölynäytteitä kerättiin lasikuitusuodattimille kolmena päivänä. Pumput olivat asfalttilevittimen päällä ja keräimet oli kiinnitetty asfalttilevittimen perään molemmin puolin noin 1,5 metrin korkeudelle.

Tielaitoksen laboratoriossa Jyväskylässä suodattimista määritettiin niiden sisältämä kokonaispölypitoisuus. Bitumihuurut analysoitiin Uudenmaan aluetyöterveyslaitoksella Helsingissä.

#### **7.1.2 Muut ilman epäpuhtaudet**

Tenax- ja aktiivihiliinäytteenottimilta määritettiin HTP-listalta (haitalliseksi tunnetut pitoisuudet) yleisimmät päästöt. Lisäksi erikseen tenax-näytteistä analysoitiin mm. terpeenit, hartsihapot, amiinit ja parafiinit. Aktiivihiliinäytteistä analysoitiin erikseen mm. styreenit, aldehydit ja butadieenit.

Tenax- ja aktiivihiliinäytteenottimia pidettiin henkilökohtaisina näytteenottimina levittimen kuljettajalla, perämiehellä ja kolamiehellä. Näytteitä kerättiin neljänä päivänä ja ne analysoitiin Kuopion yliopiston ympäristötieteen laitoksella.

Päälystyskohteilta otettiin kahtena päivänä myös XAD-hartsinäytteitä, joiden edessä käytettiin lasikuitusuodattimia. XAD-hartsinäytteistä ja suodattimista

määritettiin haihtuvat hiilivedyt, PAH-hiukkaset ja haihtuvat ainesosat. Lisäksi määritettiin kloorifenolit, polyklooratut dibentso-p-dioksiinit ja dibentsofuraanit (PCDD/PCDF). Suodattimilta määritettiin myös kokonaispölypitoisuus. Keräys suoritettiin sekä henkilökohtaisina näytteenottoina että asfalttilevittimeen sijoitettuina kiinteinä näytteenottoina. Näytteet ja suodattimet analysoitiin Kuopion ympäristötieteen laitoksella.

## 7.2 Mittaustulokset ja tulosten tarkastelu

### 7.2.1 Kokonaispöly ja bitumihuurut

Taulukko 23. Kokonaispölyn ja bitumihuurujen määrät muovi-SMA:sta.

Näytteenottimen sijainti	Kokonaispöly mg/ m <sup>3</sup>	Liukeneva huuru mg/m <sup>3</sup>
Levittimen päällä oikealla puolella 1,5 m:n korkeudella	6,81	2,43
- " -	2,74	1,88
Levittimen päällä vas. puolella 1,5 m:n korkeudella	4,41	2,40
- " -	6,11	2,66
Keskiarvo	5,02	2,34
<b>Kokonaispölyn määrä XAD-hartsinäytteenottosuodattimilta</b>		
Levittimen päällä 1,5 m:n korkeudella	3,92	
- " -	0,53	
Levittimen kuljettaja	15,71	
- " -	7,18	
Perämies	2,87	
- " -	2,20	
Kolamies	0,75	
- " -	0,50	
Keskiarvo	4,21	
<b>Kaikkien kokonaispölynäytteiden keskiarvo</b>	<b>4,48</b>	

Henkilökohtaisista näytteenottimista asfalttilevittimen kuljettajan kokonaispölyn arvot olivat selvästi suurimmat keskiarvopitoisuuden ollessa 11,45 mg/m<sup>3</sup>. Asfalttilevittimen perämiehen kokonaispölyn keskiarvopitoisuus on 2,54 mg/m<sup>3</sup>. Henkilökohtaisista näytteenottimista kolamiehen kokonaispölyn arvot olivat pienimmät keskiarvopitoisuuden ollessa 0,63 mg/m<sup>3</sup>, koska levityskohteessa kolamies pääsee liikkumaan suhteellisen paljon, eikä hänen



tarvitse olla jatkuvasti höyryssä. Levittimen kuljettajalle höyryt sen sijaan ohjautuivat tuulen vaikutuksesta varsin tehokkaasti.

Levittimen kuljettajan vastakkaisella puolella noin 1,5 metrin korkeudella sijainneiden näytteiden keskiarvopitoisuus oli  $2,22 \text{ mg/m}^3$ . Mittausajankohdaksi toiselle levittimen päällä olevista näytteenottimista ei ohjautunut höyryjä kovin paljon, koska tuulen suunta oli ko. näytteenottimelle vastainen eli tuuli vei höyryt tehokkaasti pois päin suodattimelta.

Taulukko 24. Kokonaispölyn ja bitumihuuruksen määrät muovi-PAB-B:sta.

Näytteenottimen sijainti	Kokonaispöly $\text{mg/m}^3$	Liukeneva huuru $\text{mg/m}^3$
Levittimen päällä oik. puolella 1,5 m:n korkeudella	4,58	2,75
- " -	2,12	1,24
Keskiarvo	3,35	2,00
<b>Kokonaispölyn määrä XAD-hartsinäytteenottosuodattimilta</b>		
Levittimen päällä 1,5 m:n korkeudella	3,75	
- " -	2,27	
Keskiarvo	3,01	
<b>Kaikkien kokonaispölynäytteiden keskiarvo</b>	<b>3,18</b>	

Nesteytettyä muovia sisältävillä päällystemassoilla on huomioitavaa, että bitumihuurun arvo saattaa sisältää bitumihuurun lisäksi myös muita muovi-asfaltista haihtuneita huuruja kuten mäntyöljyjen ja jätemuovin ainesosia.

### 7.2.2 Helposti haihtuvat hiilivedyt

Näytteistä määritetyt helposti haihtuvat hiilivety-yhdisteet on esitetty liitteessä 8.

Muovi-SMA:lla haihtuvien hiilivetyjen keskiarvopitoisuudeksi saatiin  $1,83 \text{ mg/m}^3$  ja muovi-PAB:lla  $0,85 \text{ mg/m}^3$ .

### 7.2.3 PAH-pitoisuudet

Näytteistä analysoitiin 15 erilaista PAH-yhdistettä liitteen 8 mukaisesti. Kaikkien näytteiden PAH-pitoisuuden keskiarvoksi saatiin  $4,14 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ .

Muovi-SMA:lla henkilökohtaisista näytteenottimista asfalttilevittimen kuljettajan arvo oli selvästi suurin keskiarvopitoisuuden ollessa  $10,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , perämiehen PAH-pitoisuuden keskiarvo oli  $2,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja kolamiehen  $1,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Näiden lisäksi näytteenottimet sijaitsivat myös levittimessä kuljettajaan nähden vastakkaisella puolella noin 1,5 metrin korkeudessa ja näillä näytteenottimilla PAH-pitoisuuden keskiarvo oli  $2,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Muovi-PAB-B:a levitettäessä ei henkilökohtaisia näytteenottimia käytetty, vaan näytteenottimet sijaitsivat asfalttilevittimen molemmiin puoliin noin 1,5 metrin korkeudessa. PAH-keskiarvopitoisuus näytteissä oli  $3,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Yksittäisistä yhdisteistä EPA:n (Environmental Protection Agency) mukaan karsinogeenisempien PAH-yhdisteiden benzo(a)pyreenin ja dibenzo(a,h)-antraseenin pitoisuudet olivat muovi-SMA:lla melko pieniä. Benzo(a) pyreenin keskiarvopitoisuus kaikista näytteistä oli  $31,8 \text{ ng}/\text{m}^3$  ja dibenzo(a,h)-antraseenin  $6,1 \text{ ng}/\text{m}^3$ . Muovi-PAB-B:lla niitä ei esiintynyt lainkaan.

#### 7.2.4 Kloorifenolit

Kaikkien näytteiden kloorifenolipitoisuuksien keskiarvo oli  $0,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Henkilökohtaisista näytteenottimista asfalttilevittimen perämiehen keskiarvopitoisuus oli suurin arvon ollessa  $0,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Levittimen kuljettajan vastaava arvo oli  $0,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja kolamiehen  $0,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Levittimen kuljettajaan nähden vastakkaiset näytteenottimet antoivat arvoksi  $0,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Muovi-PAB-B:a levitettäessä ei otettu henkilökohtaisia näytteenottoja, vaan yhdisteet analysoitiin samoilta näytteenottimilta kuin PAH-pitoisuudet. Keskiarvopitoisuus oli  $0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 7.2.5 PCDD/PCDF-yhdisteet

Muovi-SMA:lla polykloorattuja dibentso-p-dioksiineja ja dibentsofuraaneja (PCDD/PCDF) esiintyi hyvin pieniä määriä. PCDD-yhdisteiden keskiarvopitoisuus oli  $66 \text{ pg}/\text{m}^3$  ja PCDF-yhdisteiden  $309 \text{ pg}/\text{m}^3$ .

Muovi-PAB:lla PCDD/PCDF-yhdisteiden määrät olivat hyvin pieniä. PCDD-yhdisteiden keskiarvopitoisuus oli  $17 \text{ pg}/\text{m}^3$  ja PCDF-yhdisteiden  $114 \text{ pg}/\text{m}^3$ .

## **7.3 Kyselytutkimus muovipäälysteiden levityksestä**

### **7.3.1 Yleistä kyselystä**

Muovi-SMA:n ja muovi-PAB:n levitykseen osallistuneille työntekijöille suoritettiin kyselytutkimus. Kyselyyn osallistuivat asfalttilevittimen kuljettaja, perämies, kolamies, kaksi jyrän kuljettajaa ja työnjohtaja.

Tutkimuksessa selvitettiin ensin työntekijöiden yleisiä asenteita ympäristönsuojeluasioihin ja suhtautumista erilaisiin jätteiden hyödyntämistapoihin. Heiltä kysyttiin myös mielipidettä jätemuovin hyödyntämisestä asfaltoinnissa ja mielipidettä yleensä jätemuovien hyödyntämisestä. Arvosteluasteikko näissä kysymyksissä oli erittäin tärkeästä epäolennaiseen.

Muovipäälysteen levitykseen osallistuneilta selvitettiin, miten he kokevat levityksessä syntyvän käryn ja onko se heidän mielestään haitallisempaa kuin perinteistä päälystettä levitettäessä. Heiltä kysyttiin myös mahdollisista oireista muovipäälysteen levityksessä. Oireista selvitettiin päänsäryn, pahoinvoinnin, poikkeuksellisen väsymyksen, huimauksen tunteen ja hengitystieoireiden esiintymistä. Lisäksi heillä oli mahdollisuus kertoa mahdollisista muista kokemistaan oireista. Oireita verrattiin mahdollisiin perinteisen asfaltin levityksessä esiintyneisiin oireisiin. Lisäksi selvitettiin työntekijöiden valmius henkilökohtaisten suojaimien käyttöön.

### **7.3.2 Kyselyn tulokset**

#### **Ympäristönsuojeluasioiden kokeminen**

Ympäristönsuojeluasiat koettiin muovipäälysteiden levitykseen osallistuneiden keskuudessa tärkeinä (kaikki vastaukset 6 kpl).

#### **Jätemuovin hyödyntämistapojen kokeminen**

Erilaisia jätteiden hyödyntämistapoja pidettiin viidessä tapauksessa tärkeinä ja yhdessä tapauksessa epäolennaisena.

#### **Jätemuovin hyödyntäminen asfaltoinnissa**

Jätemuovin hyödyntämistä asfaltoinnissa pidettiin viidessä tapauksessa järkevänä ja yhdessä tapauksessa epäolennaisena.



## **Jätemuovin hyödyntäminen yleensä**

Jätemuovin hyödyntämistä yleensä pidettiin järkevänä viidessä tapauksessa ja yhdessä tapauksessa erittäin tärkeänä.

## **Ennakkoasenteet jätemuovin hyödyntämisessä asfaltoinnissa**

Kahdella tutkimukseen osallistuneella ei ollut ennakkoasenteita jätemuovin hyödyntämisessä asfaltoinnin yhteydessä. Neljällä osallistuneella oli ennakkoasenteita. Ennakkoasenteissa eniten askarrutti se, miten muovia voi käyttää asfaltin teossa, kun sitä ei voi polttaa. Ennakkoasenteita oli myös levitystyön onnistumisessa ja massan laadun suhteen.

## **Muovi-SMA:ta levitettäessä syntyvä käry**

Muovi-SMA-päällystettä levitettäessä syntyvää käryä pidettiin erittäin epämiellyttävänä neljässä tapauksessa (levittimen kuljettaja, perämies, kolamies, työnjohtaja), epämiellyttävänä sitä piti jyrän kuljettaja ja toinen jyrän kuljettaja (jälkijyrä) ei pitänyt syntyvää käryä ollenkaan haitallisena. Käryä luonnehdittiin kitkeräksi, pistäväksi, epämiellyttäväksi ja silmiin vaikuttavaksi.

## **Perinteistä SMA:ta levitettäessä syntyvä käry**

Perinteistä SMA-päällystettä levitettäessä syntyvää käryä pidettiin hiukan haitallisena kolmessa tapauksessa (levittimen kuljettaja, perämies, jyrän kuljettaja). Kolmessa tapauksessa (toinen jyrän kuljettaja, kolamies, työnjohtaja) perinteisen asfaltin levityksessä syntyvää käryä ei pidetty haitallisena. Perinteisen SMA:n osalta ei erityisiä käryn luonnehdintoja ollut.

## **Vertailu muovi-SMA:n ja perinteisen SMA:n levityksen synnyttämästä kärystä**

Kaikki kyselyyn osallistuneet olivat sitä mieltä, että levitettäessä muovi-SMA:ta muodostuu käryä selvästi enemmän kuin perinteisen SMA:n levityksen yhteydessä.

## **Muovi-SMA:n levityksessä esiintyviä oireita**

Muovi-SMA-päällystettä levitettäessä esiintyi päänsärkyä usein levittimen kuljettajalla ja perämiehellä. Kolamiehellä päänsärkyoireita oli ollut joskus. Jyrän kuljettajat ja työnjohtaja eivät koskaan olleet kokeneet päänsärkyä.

Pahoinvointia oli esiintynyt joskus levittimen kuljettajalla ja kolamiehellä. Perämiehen mielestä harvoin oli esiintynyt pahoinvointia. Jyrän kuljettajilla ja työnjohtajalla ei ollut esiintynyt pahoinvointia muoviasfalttia levitettäessä.

Poikkeuksellista väsymystä ei ollut esiintynyt muilla kuin harvoin levittimen kuljettajalla. Huimauksen tunnetta olivat harvoin kokeneet levittimen kuljettaja ja perämies. Muilla levitykseen osallistuneilla ei ollut esiintynyt huimausta.

Hengitysteiden ärsytysoireita oli esiintynyt usein levittimen kuljettajalla ja perämiehellä. Työnjohtajalla näitä oireita oli ollut joskus, kun taas kolamiehellä ja jyrän kuljettajilla ei koskaan.

Muita oireita kysyttäessä jyrän kuljettajia lukuunottamatta kaikilla muovi-SMA:n levitykseen osallistuneilla oli esiintynyt silmien kirvelyä ja levittimen kuljettajalla lisäksi veden valumista silmistä.

### **Perinteisen SMA:n levityksessä esiintyviä oireita**

Perinteistä SMA-päälystettä levitettäessä kenelläkään levitykseen osallistuneella ei ollut koskaan esiintynyt päänsärkyä, pahoinvointia, poikkeuksellista väsymystä, huimauksen tunnetta, hengitysteiden ärsytysoireita eikä muita oireita.

### **Valmius käyttää henkilökohtaisia suojaimia**

Kysyttäessä valmiutta henkilökohtaisten suojaimien käyttöön (esim. aktiivihiilisuodatin) muovimassoja levitettäessä vastaukset jakaantuivat eniten. Levittimen kuljettaja ei käyttäisi missään tapauksessa, koska kesällä lämpimässä suojainten pitäminen olisi haitallista. Jyrän kuljettajat voisivat harkita henkilökohtaisten suojainten käyttöä samoin työnjohtaja, joka tosin arveli käyttöä epämiellyttäväksi varsinkin lämpimällä säällä. Jos muovimassoja on pakko levittää, niin silloin perämies käyttäisi henkilökohtaisia suojaimia. Kolamies taas käyttäisi aivan ehdottomasti.

### **Muita kommentteja jätemuovin käytöstä asfaltoinnissa**

Muissa kommentteissa jätemuovia ei pidetty sopivana asfaltin raaka-aineena, asianmukaisten suojaimien käyttöä perättiin.

Työvaatteisiin tarttuvaa pahaa hajua pidettiin negatiivisena asiana, vaatteet haisivat niin pahalle, ettei niitä voinut pestä muun pyykin kanssa, eikä säilyttää kotiloissa sisätiloissa.

Teknisinä ongelmina tuli esiin massan tarttuminen herkemmin jyrän valsseihin ja levittimen nopeuden vaihtelu, koska massan meno palkin alle vaihtelee suuresti.

### **Mahdolliset oireet levitettäessä muovi-PAB-päällystettä**

Kysyttäessä oireiden esiintymistä muovi-PAB:n levityksessä koettiin oireina levittimen kuljettajalla silmien ärsytystä ja hengitysteiden ärsytystä. Samoin perämies koki hengitysteiden ärsytysoireita. Nämä oireet koettiin kuitenkin lievempinä kuin muovi-SMA:ta levitettäessä. Muut levitykseen osallistuneet eivät olleet kokeneet oireita muovi-PAB:n levityksessä.

### **Vertailua muovi-SMA:n ja muovi-PAB:n levityksen mielekkyydestä**

Kaikki kuusi henkilöä, jotka ovat osallistuneet muovimassojen levitykseen halusivat mieluummin levittää muovi-PAB-päällystettä kuin muovi-SMA-päällystettä.

### **Muita kommentteja muovi-PAB:n levityksestä**

Muissa kommentteissa todettiin, jos on pakko levittää jompaa kumpaa muovimassaa niin silloin muovi-PAB:a. Käryjä pidettiin tällöin paljon pienempinä.

Teknisinä seikkoina todettiin, että muovi-PAB halkeilee herkemmin ja on vaikeampaa työstää kuin perinteinen PAB.

### **7.3.3 Johtopäätöksiä kyselytutkimuksesta**

Kyselytutkimuksen ja henkilökohtaisten kontaktien perusteella levitystyöhön osallistuvien henkilöiden kesken voi muovi-SMA:n levitystä pitää vastenmielisenä työnä. Levityksessä syntyvä epämiellyttävä käry koettiin erityisen negatiivisena asiana. Käry tuntui aiheuttavan erilaisia oireita, kuten hengitystieoireita ja silmien kirvelyä. Muovi-PAB:n levitystä pidettiin paljon parempana vaihtoehtona kuin muovi-SMA:n levitystä, koska käry on vähäisempää eikä oireita esiinny.

Henkilökohtaisten suojaimien käyttöä vieroksuttiin, koska niiden arveltiin olevan epämiellyttäviä varsinkin lämpimällä säällä.

Kyselytutkimuksen perusteella on syytä varsin tarkasti harkita jätemuovin käyttöä asfaltoinnissa muuten kuin PAB-päällysteessä.



## 7.4 Tulosten vertailua

Taulukko 25. Ilman epäpuhtauksien määrien vertailua aiempiin tutkimuksiin.

Massatyyppi	Kokonaispöly mg/m <sup>3</sup>	Bitumihuuru mg/m <sup>3</sup>	Haihtuvat hiilivedyt mg/m <sup>3</sup>	PAH- yhdisteet µg/m <sup>3</sup>
KAB (Työterveyslaitos)	0,32	0,08	0,91	0,27
Muovi-PAB (Paananen)	3,18	2,00	0,85	3,46
AB 1 (Työterveyslaitos)	0,50	<0,1	3,60	
AB 2 "	0,40	0,10	4,50	1,60
Muovi-SMA (Paananen)	4,48	2,34	1,83	4,14
Kaikki päälystetyömaat	1,20	0,66	6,80	5,18*)
Muovi-SMA	4,48	2,34	1,83	3,46
Muovi-PAB	3,18	2,00	0,85	4,14

\*) sisältää naftaleenin

Vertailukohteena taulukossa 26 käytetään Työterveyslaitoksen vuosina 1993-94 tekemää tutkimusta "Bitumihuurut - käytetyt aineet ja altistuminen tienpäälystys- ja vedeneristystöissä". Tässä tutkimuksessa kaikkien päälystystyömaiden kokonaispölyn keskiarvo oli 1,2 mg/m<sup>3</sup> ja työmaiden vaihteluväli 0,2 - 4,9 mg/m<sup>3</sup>. Bitumihuurun keskiarvopitoisuus oli 0,66 mg/m<sup>3</sup> ja keskiarvojen vaihteluväli < 0,03 - 3,03 mg/m<sup>3</sup>.

Kyseisessä tutkimuksessa kokonaispölyn ja bitumihuurun keräykset tehtiin monelta erityyppiseltä päälystystyömaalta, jolloin päälystelajeina olivat EMKAB, SIP, KAB, ABREM, ÖSREM, KUMAB, KUMVA ja VA. Lisäksi vuonna 1992 oli tehty tutkimukset AB-levityksestä.

### Kokonaispöly ja bitumihuurut

Työterveyslaitoksen kokonaispölyn (1,20 mg/m<sup>3</sup>) ja bitumihuurun (0,66 mg/m<sup>3</sup>) keskiarvoja on nostamassa mm. Remixer-työmaan (ABREM) arvot (pöly 4,88 mg/m<sup>3</sup> ja bitumihuuru 3,03 mg/m<sup>3</sup>), jossa näytteet kerättiin lämmittimen päältä, joten tulokset eivät kuvaa altistumistasoja.

Kesällä 1997 tutkittuja massoja levitettäessä syntyi huomattavasti enemmän kokonaispölyä ja bitumihuuruja. Keskenään verrannollisten massatyyppien KAB:n ja muovi-PAB:n arvot ovat kokonaispölyn osalta miltei kymmenkertaiset muovi-PAB:a levitettäessä. Muovi-SMA-massan levitys, jota on verrattu

AB-massan levitykseen, osoittaa samansuuruista kokonaispölyn pitoisuuden nousua. Kun huomioidaan kaikki Työterveyslaitoksen tutkimuksen päällystelaajit, on kokonaispölyn keskiarvo muovi-SMA:lla yli kolminkertainen aiemman tutkimuksen päällystyslajien keskiarvoon verrattuna. Muovi-PAB:lla vastaava arvo on yli kaksinkertainen.

Nesteytettyä muovia sisältävillä päällystemassoilla on huomioitavaa, että bitumihuurun arvo ei ole suoraan verrannollinen perinteisen asfaltin vastaviin arvoihin, koska jakeet voivat sisältää paitsi bitumihuuruja myös muita käytetystä asfaltista haihtuneita huuruja kuten mäntyöljyjen ja jätemuovin ainesosia.

Bitumihuurupitoisuuksia arvioitaessa on huomioitava, että laboratoriokokeiden mukaan bitumihuuruemissio kaksinkertaistuu lämpötilan kohotessa 11-12°C (Ekström 1992). Tässä tutkimuksessa mukana olleet muovi-SMA-massat tehtiin normaalia kuumempina. Nesteytettyä muovia sisältäneen SMA-massan levityslämpötila vaihteli välillä 176 - 181 °C ja PAB-B-massan keskimääräinen levityslämpötila oli 149 °C. Sideaineen muovipitoisuus jäykistää massaa ja edellyttää siten korkeampaa sekoituslämpötilaa. Myös massan työstäminen ja tiivistäminen vaativat normaalia korkeamman lämpötilan. Korkeammilla levityslämpötiloilla on siten varmasti vaikutusta tämän tutkimuksen selvästi suurempiin bitumihuurupitoisuuksiin.

Työterveyslaitoksen tutkimuksen tulosten mukaan sääolosuhteet kuten tuulensuunta ja voimakkuus voivat myös vaikuttaa olennaisesti työntekijöiden altistumistasoihin. Tässä tutkimuksessa oli vaihtelevia sääolosuhteita, joiden vuoksi esimerkiksi asfalttilevittimen kuljettajan kokonaispölyn yksi arvo on hyvin suuri, koska tuuli ohjasi varsin tehokkaasti muodostuvia höyryjä juuri hänen henkilökohtaiseen näytteenottimeensa.

Muoviasfalttityömailta mitatut bitumihuurupitoisuudet jäivät alle 5 mg/m<sup>3</sup>, joka oli aikaisempi HTP-arvo (1994).

USA:ssa on käytössä bitumihuurun raja-arvo 5 mg/m<sup>3</sup>, jolla tarkoitetaan siellä kokonaispölypitoisuutta. Ruotsissa ja Norjassa käytetään bitumihuuruja vastaavana arvona öljysumun arvoa, joka on näissä maissa 1 mg/m<sup>3</sup>. Suomen HTP-listalla öljysumun arvo on 5 mg/m<sup>3</sup>. Kokonaispölyä verrataan joissakin tapauksissa myös orgaanisen pölyn arvoon, jonka HTP-arvo on 5 mg/m<sup>3</sup>.



## Haihtuvat hiilivedyt

Työterveyslaitoksen tutkimuksessa kaikkien päällystystyömaiden haihtuvien hiilivetyjen pitoisuuden keskiarvo oli  $6,80 \text{ mg/m}^3$ . Keskiarvoa on nostamassa sirotepintauksen korkea arvo ( $27,76 \text{ mg/m}^3$ ), mikä johtuu ko. työssä käytetävästä sideaineesta, joka sisältää runsaasti hiilivetyliuottimia. Sirotepintauksen levityslämpötilassa ( $130\text{--}150 \text{ }^\circ\text{C}$ ) hiilivetyliuottimet haihtuvat helposti. Myös kumiasfaltin levityksessä oli korkea haihtuvien hiilivetyjen arvo ( $10,37 \text{ mg/m}^3$ ).

Tämän tutkimuksen muovi-SMA:n levityksessä haihtuvien hiilivetyjen pitoisuudet ovat pienemmät kuin vastaavan perinteisen AB:n pitoisuudet. Muovi-PAB:n levityksessä pitoisuudet ovat samaa luokkaa vastaavan perinteisen KAB-päällysteen kanssa.

## PAH-yhdisteet

Työterveyslaitoksen tutkimuksessa kaikkien päällystystyömaiden PAH-yhdisteiden keskiarvopitoisuus  $5,18 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  sisältää myös naftaleenin, joten ko. arvo ei ole vertailukelpoinen tämän tutkimuksen tulosten kanssa. Naftaleeni on ollut aiempien tutkimusten PAH-yhdisteiden pääainesosa.

Verrattaessa keskenään muovi-SMA:n ja perinteisen AB:n arvoa, josta on poistettu naftaleenin pitoisuus, perinteisellä AB:lla on melkein kolminkertainen määrä PAH-yhdisteitä. Naftaleenittömät muovi-PAB:n PAH-yhdisteiden arvot ovat yli 10-kertaiset verrattuna perinteiseen KAB-massaan.

EPA:n (Environmental Protection Agency) mukaisista karsinogeenisimmistä yksittäisistä PAH-yhdisteistä benzo(a)pyreenin keskiarvopitoisuus oli muovi-SMA:lla  $0,03 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ , kun Työterveyslaitoksen tutkimuksessa arvo oli alle  $0,01 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ . Muovi-PAB:lla ko. yhdistettä ei esiintynyt lainkaan. Toista karsinogeenistä PAH-yhdistettä dibenzo(a,h)antaraseenia esiintyi muovi-SMA:lla hyvin pieni määrä ( $0,006 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ). Muovi-PAB:lla ja Työterveyslaitoksen tutkimuksessa ko. yhdistettä ei esiintynyt lainkaan.

## Kloorifenolit, PCDD/PCDF-yhdisteet

Tässä tutkimuksessa määritettiin myös kloorifenolipitoisuudet, PCDD/PCDF-yhdisteet.

Kloorifenolipitoisuudet olivat hyvin pieniä keskiarvopitoisuuden ollessa muovi-SMA:lla  $0,33 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  ja muovi-PAB:lla  $0,15 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ .

PCDD/PCDF-yhdisteiden määrät olivat myös hyvin pieniä. Muovi-SMA:lla PCDD-yhdisteiden keskiarvopitoisuus oli  $66 \text{ pg/m}^3$  ja PCDF-yhdisteiden keskiarvopitoisuus  $309 \text{ pg/m}^3$ . Muovi-PAB:lla PCDD-yhdisteitä oli  $17 \text{ pg/m}^3$  ja PCDD-yhdisteitä  $114 \text{ pg/m}^3$ .

### **Vertailua ammattitehtäin**

Kokonaispölyn pitoisuus on suurin asfaltinlevittimen kuljettajalla sekä tässä tutkimuksessa että Työterveyslaitoksen tutkimuksessa. Nyt tehdyssä tutkimuksessa levittimen kuljettajalla on selvästi suurempi kokonaispölyn arvo kuin aiemmissa tutkimuksissa. Tätä selittävät osittain sääolot, sillä keskiarvossa on mukana yksi suuri arvo ( $15,71 \text{ mg/m}^3$ ), joka johtuu siitä, että tuuli ohjasi ko. näytteenkeräimelle höyryjä tavallista enemmän.

Työterveyslaitoksen tutkimuksessa haihtuvien hiilivetyjen pitoisuuksien keskiarvo sisältää kaikkien päälystystyömaiden arvot, joten siellä on mukana myös erittäin suuriakin yksittäisiä arvoja. Tämä selviää myös vaihteluvälistä. Yksittäisiä AB- ja KAB-massojen levityksen arvoja ei ollut käytettävissä. Suunta näillä tutkimuksilla on sama eli levittimen kuljettajan arvot ovat suurimmat asfalttimassoilla. Muovi-PAB-massalla perämiehen arvo on suurin.

Selvästi suurimmat PAH-pitoisuudet löytyvät muoviasfaltin levittimen kuljettajalta. Ammattitehtäin tapahtuva vertailu on hieman vaikeaa, koska Työterveyslaitoksen ammattilliset arvot sisältävät naftaleenin ja juuri sen pitoisuus on PAH-yhdisteissä suurin ja merkittävin. Kuitenkin näiden tutkimusten perusteella voi todeta, että muoviasfaltin levittäminen aiheuttaa selvästi suuremmat PAH-yhdisteiden pitoisuudet.

Tässä tutkimuksessa määritettiin kloorifenolipitoisuudet, jotka olivat suurimmat asfalttilevittimen perämiehellä. Muovi-PAB:lla kloorifenolien arvo on pienempi kuin muovi-SMA:lla.

Lisäksi määritettiin myös PCDD/PCDF-pitoisuudet. Ne kerättiin asfalttilevittimen päällä oleviin näytteenottimiin. Pitoisuudet olivat pieniä.

Liitteessä 9 on tuloksia verrattu Pohjoismaissa ja muissa maissa mitattuihin tienpäälystäjien arvoihin.



Taulukko 26. Ilman epäpuhtauksien keskiarvot ja vaihteluvälit (suluissa) ammattittain. PAH-yhdisteissä \*:llä merkityt sisältävät naftaleenin.

Ammatti	Kokonais-pöly mg/m <sup>3</sup>	Bitumi-huurut mg/m <sup>3</sup>	Haihtuvat hiilivedyt mg/m <sup>3</sup>	PAH- yhdisteet µg/ m <sup>3</sup>
<b>Työterveyslaitos</b>				
Levittimen kulj./ päällä	0,48 (<0,02-1,92)	0,37 (0,02-1,87)	5,09 (018-19,0)	*3,40 (0,46-6,92)
Perämies	0,39 (0,08-0,81)	0,13 (<0,02-0,48)	2,62 (0,23-9,70)	*3,31 (0,74-6,88)
Kolamies	0,25 (0,05-0,52)	0,11 (<0,03-0,28)	2,46 (0,23-8,10)	*2,08 (0,40-5,64)
<b>Paananen</b>				
<b>Muovi-SMA</b>				
Levittimen kulj./ päällä	11,45 (7,18-15,71)	2,34 (1,88-2,66)	2,96 (0,45-12,03)	10,47 (7,14-13,79)
Perämies	2,54 (2,20-2,87)		1,69 (0,11-6,91)	2,45 (2,22-2,68)
Kolamies	0,63 (0,50-0,75)		0,82 (0,12-3,37)	1,45 (1,33-1,57)
<b>Muovi-PAB</b>				
Levittimen kulj./ päällä	3,18 (2,12-4,58)	2,00 (1,24-2,75)	0,84 (0,26-2,01)	3,46 (2,58-4,33)
Perämies			0,99 (0,48-1,60)	
Kolamies			0,72 (0,14-1,64)	
<b>Ammatti</b>	<b>Kloori-fenolit µg/m<sup>3</sup></b>	<b>PCDD pg/m<sup>3</sup></b>	<b>PCDF pg/m<sup>3</sup></b>	
<b>Paananen</b>				
<b>Muovi-SMA</b>				
Levittimen kulj./ päällä	0,45 (0,16-0,74)	66	309	
Perämies	0,61 (0,52-0,71)			
Kolamies	0,13 (0,08-0,18)			
<b>Muovi-PAB</b>				
Levittimen kulj./ päällä	0,15 (0,12-0,18)	17	114	

## 7.5 Päätelmät päästötutkimuksista

Kesällä 1997 tehdyssä tutkimuksessa muovia sisältäneiden SMA- ja PAB-massojen levitystyössä muodostui päästöjä enemmän kuin tavallisten asfalttimassojen levitystyössä Työterveyslaitoksen mittauksissa vuosina 1993-94. Erityisen huono tilanne on bitumihuuruksen ja kokonaispölyjen osalta, mutta myös PAH-pitoisuudet olivat kesällä 1997 suuremmat. Haihtuvat hiilivedyt ovat muovi-PAB:lla ja perinteisellä PAB:lla samaa luokkaa ja muovi-SMA:lla hieman pienemmät kuin perinteisellä asfaltilla. Myös kloorifenoleja sekä PCDD/PCDF-yhdisteitä löytyi, tosin pieniä pitoisuuksia.

Verrattaessa kesän 1997 tuloksia aikaisempiin tutkimustuloksiin on huomiotava tämänkin tutkimuksen ainutkertaisuus, sillä näytteenottimet eivät varmasti ole samoilla kohdilla kuin aikaisemmissa tutkimuksissa. Tosin selvää suuntaa-antavaa tietoutta kuitenkin eriaikaisillakin tutkimuksilla saadaan. Myös sääolojen merkitys on tämäntyyppisissä tutkimuksissa merkittävä, sillä esimerkiksi tuulen voimakkuudella ja suunnalla on merkitystä siihen, miten päästöt ohjautuvat eri näytteenottimille.

Lisäksi päästöjen esiintymiseen vaikuttaa käytettävä levityslämpötila, sillä on todettu, että 11-12 °C:n lämpötilan nousu kaksinkertaistaa bitumihuuruemission määrän. Kesällä 1997 muovia sisältäneet asfalttimassat, jotka olivat vaikeita työstää, jouduttiin levittämään normaalia korkeammassa lämpötiloissa. Mittauksia tehtäessä SMA-massat levitettiin noin 180 °C:n ja PAB-massa noin 150 °C:n lämpötilassa.

Vaikka myös lieventäviä asioita tämän tutkimuksen tuloksiin löytyy, voidaan kuitenkin todeta, että haihtuvia hiilivetyjä lukuunottamatta kaikkien muiden osa-alueiden tulokset ovat huolestuttavan suuret.

Levitystyöhön osallistuvilla työntekijöillä tehty kyselytutkimus muovimassojen levityksen mielekkyydestä ja oireiden esiintymisestä antavat yksiselitteisen suunnan, että he eivät halua levittää massoja, joissa on muovia.

Jatkossa tulisi selvittää, voiko muovin liuottamisen tehdä johonkin muuhun kuin mäntyöljypikeen ja mikä vaikutus tällä on päästöihin. Lisäksi levitystyöhön osallistuvien työntekijöiden suojausta pitää parantaa. Kyselytutkimuksessa kylläkin suhtauduttiin melko varauksellisesti henkilökohtaisiin suojaimiin, mutta esimerkiksi asfalttilevittimeen asennettavalla puhaltimella voitaisiin hajottaa muovimassojen levityksessä syntyvää höyrypilveä. Myös asfalttilevittimen kuljettajan suojaaminen ilmastoidulla hytillä voi tulla kysymykseen.



## 8 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Kesällä 1997 kokeiltiin pääosin Keski-Suomen tiepiirin yhdessä päällystysurakassa maataloudesta kerätyn jätemuovin hyödyntämistä asfaltin sideaineen lisänä. Maataloudesta kerätty jätemuovi oli pääsääntöisesti asiallisesti ja ohjeiden mukaisesti pakattua myös miehittämättömiin vastaanottopisteisiin toimitettuna. Lyhyttä tempauksenomaista keräystä ja sen ajankohtaa pidettiin hyvinä. Yhteistyö K-maatalouskauppojen ja paikallisten 4H-yhdistysten välillä toimi keräilyssä hyvin. Viljelijät ottivat keräyksen myönteisesti vastaan ja toiminnalle toivottiin jatkoa. Tiedottamisessa käytettyä apumateriaalia ja ohjeistusta pidettiin hyvinä.

Jätemuovia kerättiin maataloilta 130-140 t ja se oli pääosin polyeteenia, mutta myös polypropeenä esiintyi. Jätemuovista noin 70 % oli jatkojalostukseen sopivaa. Lajittelu tehtiin käsityönä ja rouhinta murskaimella. Kivet ja muut epäpuhtaudet hidastavat käsittelyä ja saattavat vaurioittaa murskainta ja kuluttavat teriä, minkä takia muovin tulisi olla mahdollisimman puhdasta. Keräysohjeessa tulisi painottaa syntypaikkalajittelua. Piensäkit ja paksut kalvot ovat projektissa kokeiltuun mekaaniseen käsittelyyn parhaiten sopivia.

Muovisideainetta käytettiin kesällä 1997 noin 590 t, josta asfalttimassaa valmistettiin noin 10500 t. Koepäällysteitä tehtiin Keski-Suomen, Kaakkois-Suomen, Hämeen ja Uudenmaan tiepiireihin yhteensä noin 118 000 m<sup>2</sup>, joka vastaa noin 16 tiekilometriä. Muovisideaineesta valmistettiin SMA-massaa noin 6000 t, PAB-B-massaa noin 3700 t ja ABK-massaa noin 750 t.

Muovisideaineen sekoitusasema sijoitettiin liian kauaksi sideaineen pääasiallisesta käyttökohteesta, Kukkulamäen koneasemapaikasta. Massan sekoittamisessa ja levittämisessä kohdatut ongelmat johtuivat muovisideaineen erottumisesta. Vaikka sideaine sekoitusasemalta lähtiessään olikin homogeenista, ehti se erottua yleensä 3-6 tuntia kestäneen lastauksen, kuljetuksen ja purkamisen aikana. Muovin kosteus, jonka arvioitiin olevan 10-30 %, hidasti ja vaikeutti modifiointia. Veden keittäminen kuluttaa aikaa ja energiaa, minkä takia jätemuovi tulisikin varastoidessa suojata sateelta.

Ennakkotutkimuksissa laboratoriossa havaittiin, että sideaineen muovipitoisuuden pienetkin vaihtelut vaikuttavat huomattavasti sideaineen ominaisuuksiin. Muovipitoisuuden lisääminen 10%:sta 12 %:iin muutti selvästi sideaineen ominaisuuksia haluttuun suuntaan eli kohti kumibitumin kaltaisia ominaisuuksia. Toisaalta muovipitoisuuden kasvu jäykistää sideainetta nopeasti ja edellyttää siten korkeampaa massan sekoituslämpötilaa ja vaikeuttaa massan työstettävyyttä ja tiivistettävyyttä. Muovin lisäämisen positiiviset vaikutukset tulivat paremmin esille, kun massatyypinä oli AB:n sijasta SMA.

Kun muovin osuus sideaineessa oli 12 % ja bitumipohjana B100/150, muovin lisääminen paransi SMA-päällysteen deformaatio- ja vedenkestävyyttä.

SMA-massan valmistuksessa koneasemalla kohdattiin muovisideaineen kuljetuksessa tapahtuneesta erottumisesta johtuvat ongelmat. Sideainekuorman loppuosa oli yleensä niin paljon jäykempää, että siihen jouduttiin sekoittamaan B70/100-bitumia, jota käytettiin normaalisti valtatiellä 4 SMA-päällysteen sideaineena. Tämä oli mahdollista, koska koneasemalla oli käytettävissä kaksi sideaineen varastosäiliötä. Muovipitoisuuden pienentäminen 12 %:sta 10 %:iin ei tuonut helpotusta erottumisongelmaan. Bitumipohjan vaihtaminen erikoiskäsiteltyyn bitumiin B160/200 POL helpotti massan sekoittamista. Sideaineen muovipitoisuus oli tällöin 10 %.

Muovisideaineen käyttö koneasemalla edellytti normaalia korkeampia sekoituslämpötiloja. Normaalit bitumisuuttimet jouduttiin vaihtamaan supistimiin sideaineessa esiintyneiden epäpuhtauksien takia. Muovibitumista kertyi hiekkaa kuljetusauton ja koneaseman varastosäiliöihin, mikä saattaa aiheuttaa toimintahäiriöitä ja kulumista sulkuventtiileissä ja koneaseman purkupumpussa. Tämän takia prosessiin käytettävän muovin tulisi olla puhtaampaa kuin nyt käytetty.

Asfalttiaseman normaalissa laadunvalvonnassa massanäytteiden tutkiminen olisi ollut mahdotonta ilman erikoiskalustoa. Muovisideainepitoisuuden määrittäminen massanäytteestä ei onnistu perinteisesti käytetyllä uuttosuo-  
datusmenetelmällä (PANK-4102). Muovi ei liukene menetelmässä käytettävään liuotinaineseen. Kesällä 1997 muovi poltettiin liuotinpestystä kiviaineksesta humusnäytteiden tutkimiseen tarkoitetussa polttouunissa 650 °C:ssa. Tämä hidasti näytteiden käsittelyä. Sideainepitoisuuden määrittämiseen muovimassanäytteestä saattaisi soveltua polttomenetelmä (PANK-4106), jossa sideaine poltetaan massanäytteestä 575 °C:n lämpötilassa. Menetelmässä käytetään uunia, jossa on sisäänrakennettu vaaka. Massanäytteestä palaa tällöin myös massassa mahdollisesti käytetty kuitu, mikä tulee ottaa huomioon tuloksia tarkasteltaessa.

Sideaineen epätasalaatuisuus näkyi levitystyössä niin, että massa oli vaikeampaa työstää sideainekuorman loppuosaa kohden. Heikentynyt työstettävyyttä tuntuu päällysteen epätasaisuutena. Pehmeämpään erikoiskäsiteltyyn bitumipohjaan siirtyminen helpotti myös massan levityksessä esiintyneitä ongelmia. Se ei kuitenkaan täysin ratkaissut sideaineen erottumisongelmaa, mikä tuli esille laadunvalvontatutkimuksissa vertailtaessa sideainekuorman alku- ja loppuosasta otettuja sideainenäytteitä ja vastaavasti tieltä otettuja päällystenäytteitä aamu- ja iltapäivällä levitetyistä päällysteistä. Aamupäivällä tehtyjen päällysteiden lujuudet jäivät iltapäivällä tehtyjen päällysteiden



lujuuksia alhaisemmiksi eikä deformaatiokestävyys niillä ollut yhtä hyvä kuin iltapäivällä levitetyillä päällysteillä.

Myös PAB-B-päällysteissä käytetty muovibitumi erottui laadunvalvontakokeiden mukaan selvästi. Sideaineen muovipitoisuus oli 6-8 % ja bitumipohjana käytettiin B650/900 POL. Sideaineen soveltuvuutta PAB-B-päällysteeseen on vaikea arvioida, koska siitä ei yleensä määritetä toiminnallisia ominaisuuksia. Muovipitoisuudella oli kuitenkin PAB-B-päällysteelläkin vaikutusta deformaatiokestävyyteen. Vedenkestävyys oli hyvä.

Sideaineen valmistus koneasemalla saattaisi olla ratkaisu erottumisongelmaan. Se vähentäisi myös kuljetuskustannuksia. Sideaineen sekoituskaluston vaatimaa tilaa ei tällä kertaa koekohteeksi valitulta koneasemapaikalta löytynyt, joten sitä ei voitu siirtää koneasemalle kokeilun ajaksi. Erikoiskäsitellyn POL-bitumin käyttö lisäsi oleellisesti päällysteen kustannuksia.

Koepäällysteiden urautumista ja vaurioitumista seuraamalla ja vertaamalla normaalibitumilla toteutettuihin osuuksiin voidaan tehdä päätelmiä muovibitumin vaikutuksesta päällysteen kestävyysasteeseen. Muovi-SMA-koeosuuksista on valittu viisi osuutta, joilta tullaan mittaamaan vuonna 1998 keväällä ja syksyllä urasyvyys, jotta pystytään seuraamaan sekä päällysteen deformaatioitumista että nastarengaskulumista.

Muoviasfaltin levityksessä syntyviä päästöjä mitattiin päällystystyömaalla. Tuloksia verrattiin Työterveyslaitoksen vuosina 1993-94 mittaamiin arvoihin. Kesällä 1997 muoviasfalttia levitettäessä muodostui huolestuttavan paljon päästöjä erityisesti bitumihuuruja ja kokonaispölyn osalta, mutta myös PAH-pitoisuudet olivat muoviasfalttia levitettäessä suuremmat kuin aikaisemmissa tutkimuksissa. Haihtuvia hiilivetyjä esiintyi muoviasfaltilla yhtä paljon kuin perinteisiä asfaltteja levitettäessä. Suuriin päästöihin vaikuttavat varmasti normaalia korkeammat levityslämpötilat, joita jouduttiin käyttämään massan työstettävyyden parantamiseksi, koska muovisideaine oli normaalia bitumia jäykempää.

Levitystyöntekijöille suoritettiin kyselytutkimus muoviasfaltin levitystyöstä verrattuna tavallisen asfaltin levitykseen. Kyselyn perusteella voi muoviasfaltin levitystä pitää vastenmielisenä työnä. Levityksessä syntyvää käryä pidettiin erittäin epämiellyttävänä ja oireita, erityisesti hengitystieoireita ja silmien kirvelyä, aiheuttavana. Muovi-PAB-päällysteen levitykseen suhtauduttiin hieman positiivisemmin, koska käryä ei esiintynyt yhtä paljon kuin muovi-SMA:ta levitettäessä. Sekä sideaineen muovipitoisuus että sekoituslämpötila ovat alhaisempia kuin muovi-SMA:ta tehtäessä. Mutta koska PAB-

massa on jo perinteisellä sideaineella tehtynä hyvin muodonmuutoksia sie-tävää, muovin lisäys tämän tyyppiseen massaan ei tuo juurikaan lisäarvoa päällysteelle.

Ennenkuin muovin käyttöön asfalttipäällysteen sideaineessa voidaan ryhtyä, on muoviasfaltin levityksessä syntyviä päästöjä pystyttävä oleellisesti vähen-tämään tai suojaamaan työntekijät päästöiltä. Mäntyöljypien korvaaminen muovin liuottamisessa jollakin toisella aineella saattaisi pienentää muovias-faltista aiheutuvia päästöjä. Muovisideaineen eri komponenttien vaikutus päästöjen suuruuteen tulisi selvittää. Koostumusta muuttamalla voitaisiin muovisideaine ehkä valmistaa notkeammaksi, jolloin voitaisiin käyttää nor-maaleja sekoituslämpötiloja ja sitä kautta vähentää päästöjä. Sideaineen koostumuksen vaikutusta päällysteen ominaisuuksiin tulisi myös tutkia lisää, jotta päästäisiin optimikoostumukseen päällysteen ominaisuuksien, työtek-nisten seikkojen ja päästöjen kannalta.

Muoviasfalttipäällysteiden uudelleenkäyttömahdollisuus on selvitettävä ai-nakin Remix-käsittelyllä, jossa päällyste käsitellään vieläkin korkeammissa lämpötiloissa kuin nyt päästöjen osalta tutkitut levityslämpötilat olivat. Sekä päästöt tulisi tutkia että myöskin käsittelyn tekninen onnistuminen. Uusio-käyttö on nykyään hyvin yleinen ja taloudellinen päällysteiden korjausmene-telmä erityisesti pääteillä, joille nytkin muoviasfaltti pääosin levitettiin. Jos muoviasfalttipäällyste ei ole uusiokäsiteltävissä, tulisi muovisideaineen omi-naisuuksia kehittää niin, että se sopisi käytettäväksi esim. ABK-päällysteessä. Muovisideaineen valmistusta tulee kehittää niin, että se saa-daan tasalaatuisena koneasemalle, jolloin massastakin saadaan homogee-nista ja päällyste täyttää sille asetetut laatuvaatimukset.

Tässä projektissa tutkittiin maataloudesta kerätyn jätemuovin hyödyntämistä asfalttipäällysteen sideaineessa. Kokeilun tuloksena on hankittu perustietoa muovin vaikutuksesta asfaltin ominaisuuksiin, työteknisistä yksityiskohdista prosessin eri vaiheissa ja kartoitettu myös niitä ongelmia, jotka on ratkaista-va ennenkuin jätemuovin laajempaan hyötykäyttöön asfaltissa voidaan ryh-tyä.



## 9 LIITTEET

- 1 Yhteenveto muovibitumin tuotannosta kesällä 1997.
- 2 Teiskon kiviaineksen rakeisuus AB 20 -massakokeissa.
- 3 SMA-kiviainesten rakeisuudet koekohteissa, Keski-Suomen tiepiiri.
- 4 Työmaamuistio, Keski-Suomen tiepiiri, KeS1-urakka, Sata-Asfaltti Oy.
- 5 Esimerkkejä seurantamittaustuloksista syksyltä 1997, SMA-koeosuudet, Keski-Suomen tiepiiri.
- 6 Kiviaineksen rakeisuus ABK-massanäytteissä, Kaakkois-Suomen tiepiiri.
- 7 Kiviaineksen rakeisuus SMA-massanäytteissä ja syksyn 1997 seurantamittaustulokset koeosuuksilta, Hämeen tiepiiri.
- 8 Mittausolot, mittaus- ja analysointimenetelmät sekä analysoitavat ainesosat päästömittauksissa, Keski-Suomen tiepiiri.
- 9 Päästömittaustulosten vertailua ulkomailla mitattuihin tienpäälläytäjien arvoihin.

## Muovibitumituotanto kesällä 1997, noin 593 t

Erä Nro	Pvm	Seosuhteet			Bitumi- laatu	Sideainetoimitukset		
		Mänty- öljypiki (%)	Muovi (%)	Bitumi (%)		Pvm	Kohde	t
1	2.7.	20	10	70	B100/150	2.7.	KeS	22,8
2	9.7.	16	10	74	B100/150	21.7.	Häme	22,7
3	13.7.	18	12	70	B100/150	27.7.	KeS	41,26
4	17.7.	19,5	12	68,5	B100/150	29.7.	KeS	26,4
5	27.7.	18	12	70	B100/150	4.8.	KeS	22,57
6	31.7.	19,5	11,5	69	B100/150	6.8.	KeS	23,67
7	2.8.	19,5	10,5	70	B100/150	10.8.	KeS	14,95
8	4.8.	20	10	70	B100/150	12.8.	KeS	13,96
9	8.8.	19,5	10,5	70	B100/150	12.8.	KeS	13,65
10	12.8.	19,5	10,5	70	B100/150	13.8.	KeS	23,38
11	13.8.				B100/150	17.8.	KeS	23,35
12	14.8.				B100/150	20.8.	KeS	23,45
13	16.8.	20	10	70	B100/150	22.8.	KeS	13,9
14	20.8.	20	10	70	B100/150	24.8.	KeS	19,2
15	22.8.	19,5	10,5	70	B100/150	27.8.	KeS	20,47
16	24.8.	20	14	66	B160/220 POL	28.8.	KeS	13,68
17	26.8.	17	9	74	B160/220 POL	8.9.	KeS	36,8
18	27.8.	14	9,5	76,5	B160/220 POL	13.9.	KeS	36,95
19	6.9.	10	6	84	B650/900 POL	14.9.	KeS	33,25
20	8.9.	12	8	80	B650/900 POL	21.9.	KeS	37,25
21	10.9.	12	8	80	B650/900 POL	22.9.	KeS	30,85
22	12.9.	12	8	80	B650/900 POL	25.9.	KaS	37,5
23	13.9.	12	8	80	B650/900 POL	8.10.	Ruotsi	13,95
24	15.9.	12	6	80	B650/900 POL	16.10.	Uusimaa	22,94
25	17.9.	12	6	80	B650/900 POL		Yhteensä	588,88
26	21.9.	12	6	80	B650/900 POL			
27	23.9.	19,5	10,5	70	B160/220 POL			
28	24.9.	19,5	10,5	70	B160/220 POL			
29	8.10.	19,5	10,5	70	B160/220 POL			
30	16.10.	19,5	10,5	70	B160/220 POL			





YHDYSKUNTATEKNIikka  
Tie- ja geotekniikka

los  
18.9.96

Tilaaaja: MUOVIASFALTITUTKIMUS

Kohde: Teisko, referenssimassa

Massa: AB 20

Sideaine: B-80 , KB , muovibitumi

5,2 %

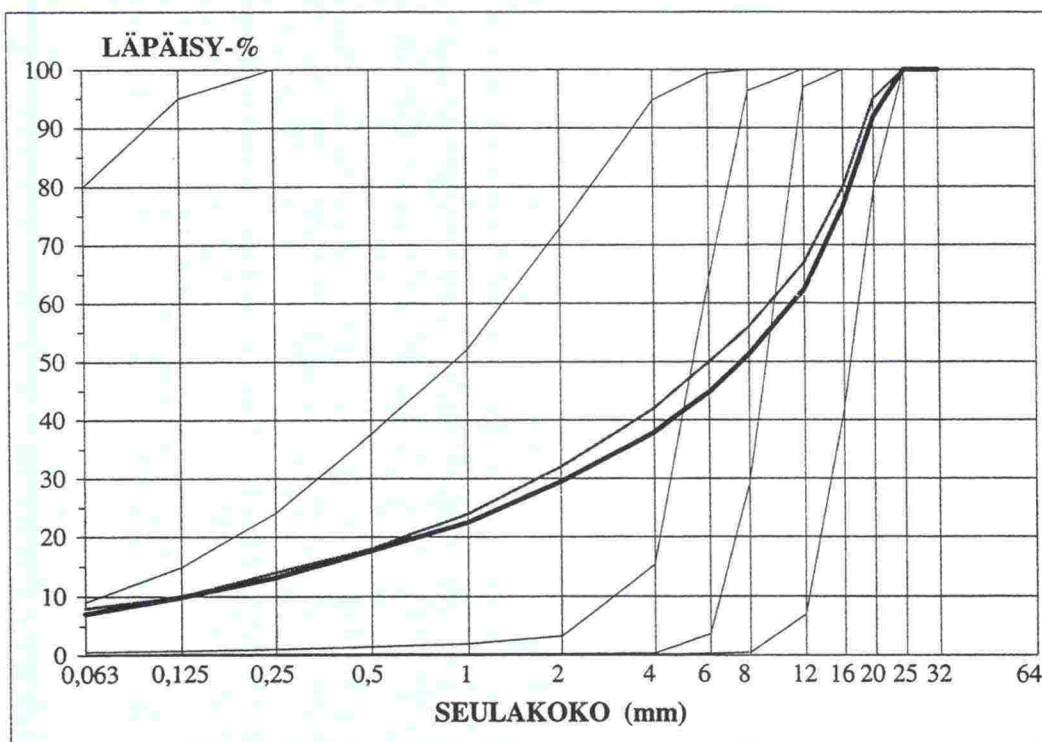
Täytejauhe: kf

Lisäaineet:

Kiviaines: Teiskon lajitteet -96

Muuta:

Massan tiheys:



Tiheydet: 2685,36    2770    2680    2690    2680    2680  
Seososuudet: 100,0 %    5,0 %    33,0 %    10,0 %    12,0 %    40,0 %

Seula	Alaraja	Tavoite	Massa	kf	0-3	4-8	6-12	12-20
0,063		8	7,1	80	9	0,6	0,2	0,1
0,125		10	9,9	95	14,9	0,8	0,3	0,2
0,25		14	13,2	100	24,1	1,1	0,3	0,2
0,5		18	17,7	100	37,6	1,5	0,3	0,2
1		24	22,5	100	52,1	2	0,3	0,2
2		32	29,5	100	72,8	3,3	0,3	0,2
4		42	37,9	100	94,7	15,3	0,4	0,2
6		50	44,7	100	99,3	64	3,6	0,3
8		56	51,3	100	99,9	96,3	29,2	0,5
12		67	62,4	100	100	100	96,9	7
16		80	76,8	100	100	100	100	41,9
20		95	91,9	100	100	100	100	79,8
25		100	100,0	100	100	100	100	100
32		100	100,0	100	100	100	100	100



YHDYSKUNTATEKNIikka  
Tie- ja geotekniikka

LIITE 3  
YKI 507/97

Tilaaaja: KESKI-SUOMI

Kohde: Muovibitumikoetie /vert

Massa: SMA 18

Sideaine: Esso /Neste B-80 6,3 %

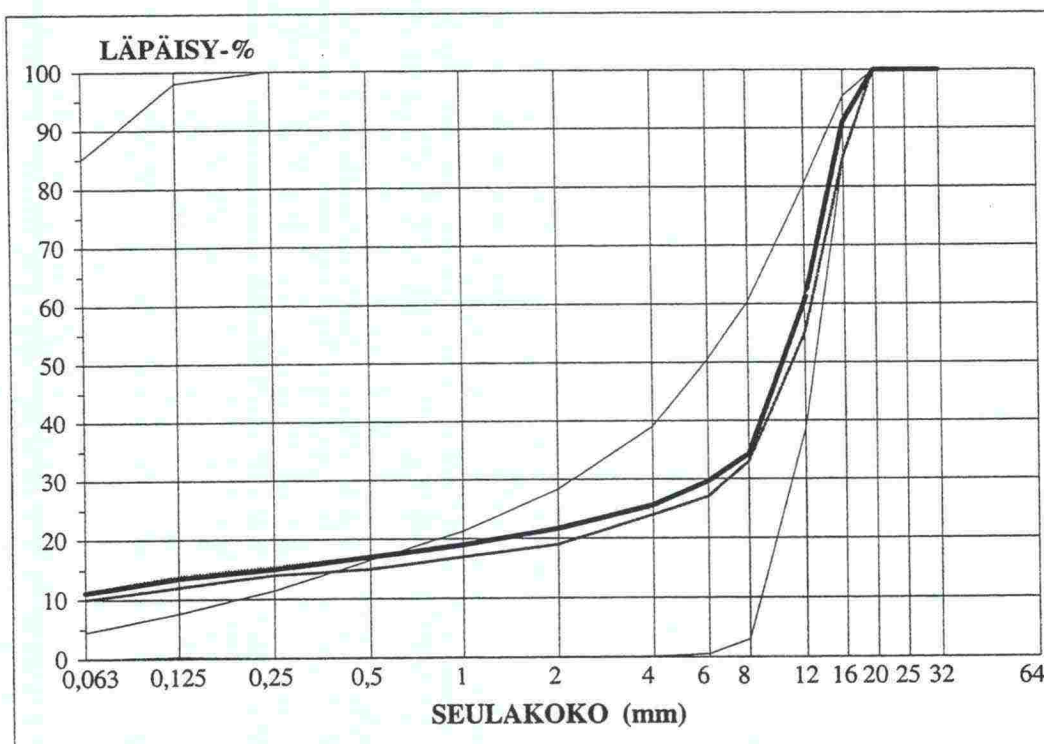
Täytejauhe: Lentotuhka

Lisäaineet: Sellukuitu 0,4 %

Kiviaines: Piiparinkallio ja Kelkkämäki

Muuta: Hienonema mukana laskelmissa

Massan tiheys:



		Tiheydet: 2607,66		2240	2650	2660	
		Seososuudet: 100,0 %		10,0 %	35,0 %	55,0 %	
Seula	Alaraja	"Tavoite"	Massa	It	0-16pes		8-18
0,063		10	11,1	85	4,5		0,1
0,125		12	13,5	98	7,6		0,1
0,25		14	15,0	100	11,4		0,1
0,5		15	17,0	100	16,5		0,1
1		17	19,0	100	21,3		0,1
2		19	21,7	100	28,3		0,1
4		24	25,6	100	39		0,1
6		27	29,6	100	50,4		0,5
8		33	34,3	100	60,3		3
12		55	60,5	100	80,3		38,6
16		85	91,1	100	95,4		84,9
20		100	100,0	100	100		99,7
25			100,0	100	100		100
32			100,0	100	100		100



LIITE 3  
2 (2)



YHDYSKUNTATEKNIikka  
Tie- ja geotekniikka

LIITE 4  
YKI 507/97

Tilaaaja: KESKI-SUOMI

Kohde: Muovibitumikoetie / vert

Massa: SMA 18

Sideaine: Esso/Neste B-80

6,1 %

Täytejauhe: Lentotuhka

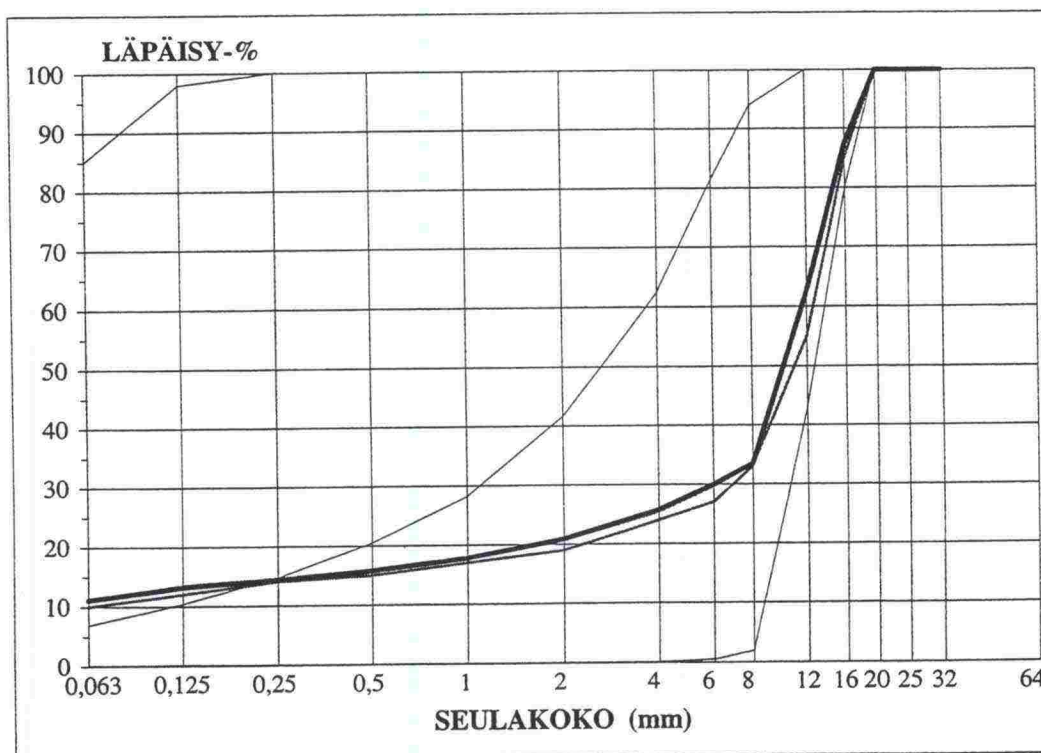
Lisäaineet: Sellukuitu

0,4 %

Kiviaines: Kukkulamäki

Muuta: Hienonema mukana laskelmissa

Massan tiheys:



		Tiheydet: 2584,99		2240	2630				2630
		Seososuudet: 100,0 %		10,0 %	22,0 %				68,0 %
Seula	Alaraja	"Tavoite"	Massa	LT	0-8pes				8-18
0,063		10	11,1	85	6,9				0,1
0,125		12	13,2	98	10,4				0,1
0,25		14	14,3	100	14,7				0,1
0,5		15	15,8	100	20,5				0,1
1		17	17,8	100	28,2				0,1
2		19	20,9	100	41,6				0,1
4		24	25,7	100	62,4				0,1
6		27	29,9	100	81,4				0,5
8		33	33,5	100	94				1,9
12		55	62,4	100	100				43
16		85	87,4	100	100				80
20		100	100,0	100	100				100
25			100,0	100	100				100
32			100,0	100	100				100

## Muovibitumipäällysteet KeS 1 / 1997 päällystysurakassa

### SMA 18

**Polytronic Oy:ltä saapuneet sideaineet:**

#### **Pohjabitumi B 120**

2.7.1997 22800 kg (Piiparinkallio)  
28.7.1997 41260 kg  
30.7.1997 26400 kg (lisätty 6000 kg B 70/100)  
4.8.1997 22570 kg  
6.8.1997 23670 kg  
11.8.1997 14950 kg  
12.8.1997 13960 kg  
13.8.1997 13650 kg  
14.8.1997 23380 kg  
18.8.1997 23350 kg  
\*21.8.1997 23450 kg  
\*22.8.1997 13900 kg (lisätty heti 3150 kg B 70/100, jäljellä 4490 kg lisätty 1000 kg B 70/100)  
Yht. 263340 kg

#### **\*Pohjabitumi B 200 POL**

\*25.8.1997 19200 kg  
\*27.8.1997 20470 kg  
\*28.8.1997 13680 kg  
Yht. 53350 kg

#### **SMA 18 muovimassan suhteitus arvot:**

Sideaine 6,2 % 11.8 muutettu 6,3 %:iin, 22.8 6,5 %.  
Lentot. 10-7% (Kiviainespöly on ajettu massaan)  
Kuitu 0,2%  
0.063 10,0%  
0,5 16,0%  
2 21,0%  
8 37,0%

Vertailumassan seulojen läpäisyarvot samat. Sideaine B 70/100 6.2 %.Kuitu 0.35 %.



## LIITE 4 2 (10)

### Valmistetut massat ja sijainti:

#### Kohde 703 Vt 4 Viisarinmäki-Oravasaari

28.7.1997 543.5 t Kaista vasen plv 0-1200 (1200 eteenpäin lisätty B 70/100)  
30.7.1997 524.0 t Kaista oikea plv 1920-4200  
4.8.1997 371.0 t Kaista oikea plv 4710-6360  
6.8.1997 391.5 t Kaista vasen plv 10250-12020  
11.8.1997 283.5 t Kaista vasen plv 12495-13746 ( tehty 55.5t 6.2 %,sideaine % 6.3)  
12.8.1997 189.5 t Kaista oikea plv 11856-12700  
Yht. 2303.0 t

#### \*Kohde 704 Vt 4 Oravasaari-Kanavuori/ Vt 9 Liittymä

13.8.1997 259.0 t Kaista vasen plv. 130-1150  
14.8.1997 361.5 t Kaista oikea plv. 145-2010  
18.8.1997 385.0 t Kaista oikea plv. 4083-4480 Vt 9 vasen 330-712  
Yht. 1005.5 t

#### \*Kohde 702 Vt 4 Varalaskupaikka-Tammihaara (Levityssuunta päinvastainen)

21.8.1997 450.0 t Kaista oikea plv. 0-700  
22.8.1997 265.0 t Kaista vasen plv. 100-650  
Yht. 715.0 t

#### Kohde 701 Vt 4 M-L raja-Varalaskupaikka (levityssuunta päinvastainen)

\*25.8.1997 281.5 t Kaista vasen plv. 1050-1700  
\*27.8.1997 341.5 t Kaista oikea plv. 3450-4200  
\*28.8.1997 192.5 t Kaista vasen plv. 4100-4600  
Yht. 815.5 t

SMA muovimassaa valmistettiin yhteensä Kukkulanmäessä 4839 t

### Huomiot / ongelmat työmaalla

#### *Massan valmistus*

28.7.1997 aloitettiin muovibitumikokeilu Kukkulanmäen koneasemapaikalla. Muovibitumi oli autosta purettaessa suurimmalta osalta jäykähköä ja kuljetussäiliöstä purku koneaseman varastosäiliöön oli hidasta. Purettaessa 1/3-osa muovibitumista purkaantuu alussa normaalisti. Purku hidastuu loppua kohden huomattavasti.

Massaa valmistettaessa bitumin ruiskutus hidastui jatkuvasti varastosäiliön tyhjentyessä. Lopussa ruiskutusaika oli n. 40 sekuntia. Normaalisti ruiskutus aika on n. 15 sekuntia. Ruiskutukseen tarvittava virta oli 1.5 kertainen normaaliin bitumin ruiskutukseen verrattuna. Massan sekoittuminen vaikeutuu samassa suhteessa.

Bitumisuuttimet jouduttiin puhdistamaan samana iltana.

29.7.1997 bitumisuuttimet puhdistettiin kesken päivän uudestaan, jolloin ne päätettiin loppupäiväksi jättää pois, säiliössä esiintyneiden epäpuhtauksien vuoksi. Ilman suuttimia bitumiruiskutusaika pieneni oleellisesti.

30.7.1997 tulleen muovibitumin suhteellista muovimäärää muutettiin lisäämällä tulleeeseen kuormaan B 70/100-bitumia 6000 kg.

Massa valmistettiin suuttimet paikallaan. Lisätty bitumi ei muuttanut muovibitumin koostumusta siten, että sideaine olisi ollut tasalaatuisempaa ja näin helpottanut massan valmistusta.

Bitumisuuttimet puhdistettiin jälleen massanvalmistuksen päätyttyä ja ne laitettiin aamuksi takaisin.

4.8.1997 työmaalle oli tilattu koko kuorma muovibitumia, mutta bitumin sekoituksessa esiintyneiden vaikeuksien vuoksi saatiin työmaalle ainoastaan peräkärryllinen sideainetta.

Tämä erä muovibitumia oli juoksevampaa, eikä massan valmistuksessa ollut aiemmin mainittuja vaikeuksia. Tämän erän ominaisuudet olivat niin poikkeavat aiemmista muovibitumieristä, mikä aiheutti työmaalla keskustelua seossuhteista.

6.8.1997 tullut bitumierä oli jälleen osittain huonosti juoksevaa. Illalla bitumisuuttimet olivat jälleen osittain tukossa. Työmaalla päätettiin, että suuttimet jätetään pois ja hankitaan tilalle suistukset jotka toimivat tilapäisinä suuttimina.

7.8.1997 asennettiin tilapäissuuttimet työvuoron päätteeksi.

11 - 18.8.1997 tulleet muovibitumikuormat ovat olleet huonohkosti juoksevia.

12.8.1997 muovibitumi varastosäiliö koneasemalla syttyi tuleen kun sideainetta oli n.4000 kg jäljellä. Säiliössä ei juuri tuolla hetkellä ollut enää lämmitystä päällä.

18.8.1997 Janne Pinomaa oli seuraamassa kuorman purkua Kukkulamäen koneasemalla, ja näki henkilökohtaisesti vastaanottajan purkuongelmat.

Tielaitoksen laborantti on ottanut muovibituminäytteen jokaisesta erästä. Tutkittavaksi on lähetetty 4.8 ja 6.8.1997 muovibitumieristä otetut näytteet.

\*21.8.1997 toteutettiin 19.9.1997 pidetyssä muovipalaverissa sovitut kuidun poisjätto, juoksevuuden mittaustulos ja bitumin otto säiliön pohjalta.

Juoksevuuden mittaustulokset vaihteli 10 sekunnista - 5 minuuttiin (mittaustulokset liitteenä). Kuidutonta massaa alettiin valmistamaan samoilla ohjearvoilla kuin "normaalia" SMA-muovimassaa; bitumi 6,2% ja lentotuhka 8 % (24 t). Massa oli erittäin sideainepitoisen näköistä jolloin sideaine muutettiin 6,1 %:iin ja lentotuhka 9 %:iin (17,5 t). Edelleen massa näytti liian bitumiselta, sideaine muutettiin 6,0 %:iin ja lentotuhka 10 %:iin (13 t). Vieläkin massa oli kiiltävän näköistä jolloin muutettiin sideaineprosentti 5,8:aan (121,5t). Bitumia käytetty n. 10400 kg. Massa oli edelleen liian bitumisen näköistä jolloin sideaineprosentiksi muutettiin 5,6 % (64 t). Sideainetta käytetty n 14000 kg. Sideaine alkoi jäykistyä jolloin lentotuhkaa vähennettiin 8 %:iin (210 t). Kun muovibitumia oli jäljellä n. 8000 kg lisättiin sekaan B 70/100 sideainetta n.2000 kg.

B 70/100 bitumilla vastaavaa massaa tehtäessä oli sideaineprosentti 5.2 ja lentotuhka 10 %.

Massa jota valmistimme ei ollut SMA- eikä EA-massaa. Ilman kuitua tehtävään massaan sideaineen muuttuessa juoksevuudeltaan on lähes mahdotonta arvioida tilanteen vaatimaa



## LIITE 4

### 4 (10)

sideaineprosenttia. Varastosäiliön pohjalta tapahtunut imu aiheutti sen, että sideaineen juoksevuusero tuli jyrkästi esiin massaa valmistettaessa.

\*22.8.1997 kuormaa purettaessa juoksevuude mittaustulokset vaihtelivat 13 sekunnista 5 - minuuttiin 45 sekuntiin (mittaustulokset liitteenä). Ennen kuin massaa alettiin valmistaa lisättiin muovibitumin sekaan B 70/100 bitumia 3150 kg, koska n. 4000kg muovibitumista oli juoksevuudeltaan huonoa. Kun muovibitumia oli jäljellä 4490 kg lisättiin B 70/100 sideainetta 1000 kg muovibitumin sekaan, jotta se kulkisi paremmin massakoneen bitumiputkissa. Massaa valmistettiin 6,5 %:n sideaineella ja 8%:n lentotuhkalla. *Bitumin ruiskutusaika sekoittimeen 20-30 sek*

#### **B -200 POL pohjabitumi**

Keravan muovibitumin valmistaminen B 120 pohjabitumiin keskeytettiin. Keravan pohjabitumi säiliössä olleet 26500 kg B 120 bitumia noudettiin Kukkulanmäkeen.

\*25.8.1997 ensimmäinen POL 200-pohjabitumiin sekoitettu muovibitumi saapui työmaalle. Kuormanpurun yhteydessä tehdyt juoksutusmittaukset vaihteli 22 sekunnista - minuuttiin 45 sekuntiin (mittaustulokset liitteenä). Juoksevuudessa on huomattava muutos parempaan koska vaihtuvuus juoksevasta huonosti juoksevaan oli lievempi. Kuormasta n. 17000 kg juoksevuus oli 22 sekunnista- 29 sekuntiin, kuorman loppu n. 2000 kg oli juoksevuudeltaan n. 1,5 minuutin luokkaa.

Bitumin ruiskutusaika muuttui 24 sekunnista 34 sekuntiin, kun bitumi väheni säiliössä 6100 kg:sta 2600 kg:aan.

\*27.8.1997 juoksevuusajat vaihteli 17 sekunnista- 2 minuuttiin 10 sekuntiin. Säiliöautonkuljettajan mukaan muovibitumin juoksutus homogenisaattorissa oli 4 tuntia. Ympäristöuutisten kuvausryhmän vuoksi sideaineen valmistusaika jäi lyhyeksi.

\*28.8.1997 juoksevuusajat vaihteilivat 10 sekunnista-3minuuttiin 13 sekuntiin. SMA-massan valmistuksen loppumisen vuoksi muovibitumin valmistusaika jäi lyhyeksi.

#### **Muut huomiot**

\*POL 200 bitumipohjaan valmistetun muovibitumi oli huomattavasti tasalaatuisempi massan valmistuksessa. Muovibitumin ruiskutusajat olivat 20-30 sekunnin luokkaa, siis lähes normaalit. B-120 pohjaisen muovibitumin ruiskutusaika oli pahimmillaan 50 sekunnin luokkaa. Muovibitumin erottuminen ei ollut niin voimakasta kuin B 120 pohjabitumia käytettäessä. Saapuneiden sideaineiden lämpötilat kuormissa olivat tasaisia riippumatta pohjabitumista tai erottumisesta.

Muovibitumista kertyi epäpuhtauksia ( hiekkaa) lähinnä kuljetusauton säiliöihin, aiheuttaen toimintahäiriöitä sulkuventtiileissä. Myös koneasemalla oleva purkupumppu saattaa viottua pitempiäaikaisessa epäpuhtaan sideaineen käsittelyssä. Lisäksi epäpuhtauksia kertyy sekä kuljetussäiliöihin, että varastointisäiliöihin. Jatkossa ainakin maatalousmuovi olisi pestävä ennen sideaineksi nesteyttämistä.

#### **Levitys**

##### **SMA 18/60 MPKJ**

Levitystyössä muovimassa vaatii levittimen perän kerrospaksuutta osoittavan mittarin mukaan jopa kaksi kertaa suuremman lukeman normaalibitumiseen massa verrattuna. Massa muuttuu päivän mittaan vaikeammaksi työstää aivan kuin valmistettaessa. Lukemat korkeusmittarissa kasvaa muovimassan levittämisen alusta loppuun mentäessä. Lopussa lukemat osoittavat



massamäärää jolla normaalioloissa kerrospaksuus olisi n.130 kg/m<sup>2</sup>. Tämä osoittaa sitä, että massa ei mene helposti levittimen perän alle.

Muovimassapäälysteen levityksen loppuvaiheessa massa muuttuu silmämääräisesti tarkasteltuna kuivan näköiseksi. Loppukuormia levitettäessä joudutaan perän jättämää jälkeä korjaamaan heittämällä massaa avoimiin kohtiin. 13.8.1997 suoritettun iri-mittauksen ylittävät iri4 arvot ovat juuri tällaisilla silmämääräisesti kuivilla kohdilla.

Muovimassaa tehtäessä 6.2:n sideaineprosentilla massa tarttui jyrien valsseihin normaalia enemmän. Myös lämpötilan noustessa yli 180 asteen jyräysongelmat lisääntyivät.

Muovimassan koostumusta muutettaessa siten, että sideainetta lisättiin 0.1 prosenttia ja lentotuhkaa pudotettiin 2 prosenttia josta osa korvattiin kiviainespölyllä, jyrän valsseihin tarttuva massa väheni huomattavasti.

Lämpötilan ollessa n.150 astetta massan työstettävyyttä heikkenee entisestään.

Massa muuttuu muutamassa tunnissa levityksen jälkeen kuivahkon näköiseksi ja väriltään ruskeaksi.

Kipattaessa massaa levittimeen, massa tulee ikäänkuin laattana jonka reunat lavaa vasten ovat mattapintaisia.

\*21.8.1997 Tammihaaran risteysaluetta päällystettäessä, jouduttiin saman päivän päällystettyä uusimaan, koska siihen oli syntynyt voimakasta halkeilua. Asiaa tutkittaessa havaittiin, että muovimassa ei tartu tuoreeseen tasattuun alustaan yhtä hyvin kuin normaali bitumista valmistettu massa. Yleensä ei tuoretta tasattua alustaa liimata. Tämä ilmiö ei ole tullut aikaisemmin esiin koska muovimassa on levitetty kuumennustasatulle alustalle.

\*POL 200 pohjaan valmistettu muovibitumi ei työstettäessä aiheuttanut niin suuria ongelmia kuin aikaisemmin käytetty muovibitumi. Alku- ja loppumassan työstettävyyseron muutos oli huomattavasti pienempi.

\*Jyräyksessä massa tarttui edelleen normaalia runsaammin valsseihin.

\*Massassa on edelleen havaittavissa kuivuus ja värierio, alku- ja loppumassassa.

### **Työympäristö**

Muovimassa höyryä kuljetettaessa ja levitettäessä normaalia enemmän. Levitystyöryhmän mielestä työolosuhteet muovimassaa käsiteltäessä ovat hyvin epämiellyttävät.

\*Levittimen kuljettajan mukaan POL 200 bitumipohjainen muovisideaineen käry ei ollut niin voimakas kuin B 120 pohjaisen bitumin.

### **\*Pintavirheet:**

*Kohde 703*

*Kohde 704*

- keskisauma avoin

*Kohde 702*

- sideaine noussut pintaan 27 m<sup>2</sup>

- reuna lohjennut 10 m<sup>2</sup>

- pituussuuntainen lajittuma 0.6 m<sup>2</sup>

(- heitto, jyritty)

*Kohde 701*

- jyrän napitusjälki

### **\*Tasaisuus**

30.7.1997 levitetyssä muoviosuudella iri 4 2,7 %

6.8.1997 " iri 4 60,2 %

## LIITE 4

### 6 (10)

18.8.1997 levitettyllä osuudella iri 4 42,1 %  
21.8.1997 " iri 4 16,1 %

#### \*PAB B 16

#### Polytronic Oy:ltä saapuneet sideaineet:

##### Pohjabitumi B 800 POL

9.9.1997 36300 kg (8% muovi)  
14.9.1997 36950 kg "  
15.9.1997 33250 kg "  
Yht. 106500 kg

21.9.1997 37520 kg (6% muovi)  
22.9.1997 30850 kg "  
Yht. 68370 kg

PAB B muovi sideaineet yhteensä 174870 kg

#### Valmistetut massat ja sijainti:

##### Kohde 713 Tammiharju-Tammihaara

9.9.1997 254.5 t (4,3%) Kaista vasen plv. -2-1400  
9.9.1997 452.5 t (4,4%) Kaista <sup>V. 13.9.</sup> oikea plv. 1400-2105  
15.9.1997 1571.5 t " Kaista oikea plv. -2- 3530 ja vasen 2105-3200  
22.9.1997 1215.5 t " Kaista vasen plv. 13980-15600 ja 16300-18185  
22.9.1997 205.5 t (4,3%) Kaista vasen plv. 15600-16300  
Yht. 3699.5 t

#### Huomiot / ongelmat työmaalla

##### \*Massan valmistus

9.9.1997 tulleen muovibitumi 800, 8 %:n juoksevuusarvot kuormaa purettaessa vaihteli välillä 12-32 sekuntia peräkärkyssä ja 12-41 sekuntia nuppikuormassa. Vertailumittaus B 650/800 sideaineella antoi tulokseksi 12-14 sekunnin vaihteluvälin (mittaustulokset liitteenä).

PAB B-muovimassaa valmistettaessa jouduttiin 8 % muovilla käyttämään 165-170 asteen sekoituslämpötilaa. Sekoituslämpötilaa alennettaessa massan sekoittuminen huononi selvästi. Aloitettaessa massanvalmistus sideaineprosentti oli 4,3, mutta se nostettiin 4,4 %:iin, koska jyrättäessä esiintyi päällysteen runsasta halkeilua. Lisäksi massa oli kuivahkon näköistä.

15.9.1997 tulleen kuorman juoksevuusarvot oli peräkärkyssä 17-23 sekuntia. Nuppikuorman vastaavat arvot oli välillä 10-25 sekuntia. Sunnuntaina 14.9 tulleesta kuormasta ei juoksevuutta ole mitattu (mittaustulokset liitteenä).

22.9.1997 tulleen perävaunun muovibitumi B 800, 6 % oli tasalaatuista, juoksevuus arvo oli 12-13 sekuntia. Nuppikuorman arvot vaihteli 10-30 sekuntiin (mittaustulokset liitteenä).

Massaa valmistettaessa voitiin sekoituslämpötiloja alentaa 6 %:n muovibitumilla n.20 astetta.



**\*Levitys**

Aloitettaessa massa pyrki halkeilemaan, sama ilmiö oli havaittavissa myös normaali massalla. 15.9 työpäivän lopussa jyräystä muutettiin siten, että 8 tonnin jälkijyränä ollut 3-valssijyrä korvattiin 3-tonnisella 2-valssi jyrällä. Muutoksen jälkeen halkeilu loppui lähes kokonaan, niin normaali- kuin muovisideaine massalla.

Massa tarttui jyrän valsseihin normaalia runsaammin molemmilla muoviprosenteilla.

Päitten teossa syntyneitä kasoja poistettaessa kyseisen työn suorittajan kertoman mukaan muovimassa 8% kasat olivat löysemässä tilassa kuin normaali sideaineiset kasat.

Varsinaisessa levitystyössä ei havaittu olennaista poikkeavuutta normaali massaan verrattuna.

**\*Työympäristö**

Lämpätilaa pudotettaessa massasta nousevat höyryt vähenivät merkittävästi eikä siten ole niin epämiellyttäviä.

**\*Pintavirheet**

*Kohde 713 plv -2-3532 (8%):*

- halkeamia 392 m
- jyrän ja liikenteen mastiksin tarttumisjälkiä useissa kohdissa
- pituussuuntaista lajittumaa 9 m<sup>2</sup>

*Plv 13980-18185 (6%):*

- halkeama 1 m
- jyrän ja liikenteen mastiksin tarttumisjälkiä useissa kohdissa

**\*Tasaisuus**

Tasaisuusmittauksen iri 4 arvojen perusteella ei tasaisuudessa ole huomautettavaa.

Jyväskylä 28.10.1997

Jouni Viitanen  
Sata-Asfaltti Oy

Matti Järvensivu  
K-S tiepiiri

**LIITE 4**  
**8 (10)**

**Kukkulamäen koneasemapaikalle saapuneiden sideainekuormien  
juoksevuusmittaukset**

Pvm	Sideainekuorma (kg)	lämpö (°C)	valuma- aika	Huom	purkuaika
21.8.	B100/150 + muovi 10 % 11450 171 12000 168-170		10-13 sek 4,5-5 min	lastaus 2h + kuljetus 9h  jäykkyydessä selvä raja	1 h 18 min
22.8.	B100/150 + muovi 10,5 % 10000 172-176 3900 171-176		13-15 sek 0,5-6 min	jäykkyydessä selvä raja	55 min
25.8.	B160/220 POL + muovi 14 % 17200 183-186 2000		22-37 sek 1-2 min	muovilaatta pinnalla kulj.säiliössä  väri ruskea	30 min
27.8.	B160/220 POL + muovi 9,5 % 20470 178-180		1-2 min	hidastui tasaisesti	42 min
27.8.	B70/100 Referenssi	150	10 sek		
28.8.	B160/220 POL + muovi 9,5 % 4500 174-180 9180 179-181		10-15 sek 2-3 min	muovilaatta pinnalla kulj.säiliössä  jäykkyydessä raja, väri ruskea	39 min
9.9.	B650/900 POL + muovi 8 % perävaunu 36300 163-172 + nuppi 163-166		12-32 sek 11-17 sek 19-42 sek	hidastui tasaisesti  jäykkyydessä raja, väri ruskea	35 min  20 min
8.9.	B650/900 Referenssi		12-14 sek		
15.9.	B650/900 POL + muovi 6 % perävaunu 33250 169-172 + nuppi 165-175		17-21 sek 10-25 sek		30 min 23 min
22.9.	B650/900 POL + muovi 6 % perävaunu 30850 166-167 + nuppi 156-170		12-13 sek 9-14 sek 20-30 sek		26 min 29 min



MUOVIBITUMIKOKEILUT 1997

PÄÄLLYSTEURAKKA: KeS 1/97,

KUKKULAMÄEN SEKOITUSASEMA

SIDEAINEEN LAJI: B-100/150 JA

POL-200 + MÖP + MUOVI

PÄÄLLYSTE SMA 18/60-90/MPKJ

## MASSANÄYTTEIDEN OTTO:

NÄYTTEET OTETTU KONEASEMALLA KESKIMÄÄRÄISNÄYTTEINÄ

N:o	pvm	klo	työ n:o	paalu	kais- ta	Side- aine ohje %	lento- tuhka ohje %	sellu- loosa kuitu %	massar lämpö	Marshall tehty Näyt.N:o/ kpl	ICT:TÄ VARTEN OTETTU
1	28.7	13.30	703	114	vas	6.20	10.0	0.2	170		
2	28.7	16.40	703	884	vas	6.20	10.0	0.2	175		
3	29.7	13.00	703	695	oik	6.20	10.0	0.3	175		
5	30.7	11.30	703	2276	oik	6.20	9.0	0.2	182		
8	4.8	8.45	703	5421	oik	6.20	8.0	0.2	178		
10	6.8	14.29	703	11945	vas	6.20	9.0	0.2	170		
12	11.8	10.20	703	12694	vas	6.20	9.0	0.2	182	12 / 3	
13	11.8	12.10	703	13179	vas	6.30	7.0	0.2	182	13 / 3	
14	12.8	7.55	703	12432	oik	6.30	7.0	0.2	180		
16	13.8	8.25	704	965	vas	6.30	7.0	0.2	186		
18	14.8	9.05	704	976	oik	6.30	7.0	0.2	187		
21	18.8	10.15	704	480	oik	6.30	7.0	0.2	180		
25	22.8	10.25	702	125	vas	6.50	8.0	0.2	182	25 / 5	K.ESKOLA
26	22.8	12.50	702	400	vas	6.50	8.0	0.2	180	26 / 5	K.ESKOLA
28	25.8	11.05	701	1168	vas	6.30	7.0	0.2	182	28 / 5	K.ESKOLA
29	25.8	12.20	701	1540	vas	6.30	7.0	0.2	185	29 / 5	K.ESKOLA
35	27.8	8.40	701	3562	oik	6.20	7.5	0.2	183	35 / 5	Läh.VTT:LLE
36	27.8	10.25	701	3990	oik	6.20	7.5	0.2	185	36 / 5	Läh.VTT:LLE
39	28.8	12.55	701	4280	vas	6.20	7.5	0.2	191	39 / 3	piirintab

MASSAN SIDEAINEPITOISUUS MÄÄRITETTY UUTTAMALLA BITUMI JA MÄNTYÖLJYPIKI PANK-MENETELMÄN 4102 MUKAISESTI JONKA JÄLKEEN PESTY KIVIAINES KUIVATTU LÄMPÖKAAPISSA 105 ASTEESSA. KUIVAUKSEN JÄLKEEN NÄYTTEESTÄ POLTETTU LIUKEAMATON MUOVI POLTTOUUNISSA 650 :SSA

NÄYTTEISTÄ OTETTU RINNAKKAISNÄYTTEET, JOISTA N:o: 12, 13 JA 14 LÄHETETTY UUDENMAAN TIEPIIRIN LABORATORION MATINKYLÄÄN VERTAILUTUTKIMUKSIIN.

21.8 VALMISTETTU MASSAA ILMAN KUITUA, SIDEAINE OHJE % 5.80 JOSTA OTETTU 1-NÄYTE, SEKÄ OHJE % 5.60 1-NÄYTE ETTÄ OHJE % 5.40 MYÖS 1-NÄYTE.  
LENTOTUHKA %: 10, 8 JA 10.

LIITE 4  
10 (10)

MUOVIBITUMIKOKEILUT 1997

PÄÄLLYSTEURAKKA: KeS 1/97,

KUKKULAMÄEN SEKOITUSASEMA

SIDEAINEEN LAJI: POL - 800 + MÖP + MUOVI 8 % JA 6 %

PÄÄLLYSTE: PAB - B 16/90/MP

## MASSANÄYTTEIDEN OTTO:

NÄYTTEET OTETTU KONEASEMALLA KESKIMÄÄRÄISNÄYTTEINÄ

N:o	pvm	klo	työ n:o	paalu	kais- ta	Side- aine ohje %	Massar lämpö	Marshall varten otettu kg	ICT:TÄ VARTEN OTETTU kg		MUOVI %
1	9.9	7.15	713	900	vas	4.30	167	10	10	K.Eskola	8
2	9.9	11.00	713	13455	vas	4.40	170	10	10	K.Eskola	8
3	9.9	13.00	713	2073	vas	4.40	173	10	10	K.Eskola	8
4	15.9	6.45	713	34	oik	4.40	174	10	10	Piirin lab.	8
5	15.9	10.05	713	1235	oik	4.40	161	10	10	Piirin lab.	8
6	15.9	11.35	713	1853	oik	4.40	160	10	10	Piirin lab.	8
7	15.9	15.00	713	3275	oik	4.40	165	10	10	Piirin lab.	8
8	22.9	6.40	713	14150	vas	4.40	150	10	10	läh.VTT:HE	6
9	22.9	12.00	713	15825	vas	4.30	155	10	10	läh.VTT:HE	6
10	22.9	14.40	713	16985	vas	4.30	154	10	10	läh.VTT:HE	6

AJORADALTA LAADUN ARVOSTELUUN OTETUT NÄYTTEET

PANK - 4001 MENETELMÄ

N:o	pvm	klo	työ n:o	paalu	kais- ta	Side- aine ohje %	Massar lämpö	Näytt. otto- kohta
1	9.9	8.51	713	314	vas	4.30	160	3
2	9.9	12.25	713	1585	vas	4.40	159	4
3	15.9	7.30	713	175	oik	4.40	137	10
4	15.9	11.00	713	1650	oik	4.40	-	11
5	15.9	15.40	713	3350	oik	4.40	154	12
6	22.9	8.50	713	14040	vas	4.40	141	5
7	22.9	11.50	713	15422	vas	4.40	140	6
8	22.9	15.2	713	16845	vas	4.40	143	7

MASSAN SIDEAINEPITOISUUS MÄÄRITETTY UUTTAMALLA BITUMI JA MÄNTYÖLJYPIKI PANK-MENETELMÄN 4102 MUKAISESTI JONKA JÄLKEEN PESTY KIVIAINES KUIVATTU LÄMPÖKAAPISSA 105 ASTEESSA. KUIVAUKSEN JÄLKEEN NÄYTTEESTÄ POLTETTU LIUKEAMATON MUOVI POLTTOUUNISSA 650 :SSA

VT4MUOVI

Nimi :muovi 702 ap 05/10/97 08:00					
Tienumero:4 Tieosuus: 2 Suunta: 1					
pro	2mku	2mru	väli	A2mk	A2mr
	mm	mm	cm	cm2	cm2
8	4.9	2.7	164.0	42.4	16.1
9	8.6	4.0	124.0	79.8	30.2
10	6.8	4.4	188.0	64.2	37.6
11	6.9	4.2	164.0	54.0	36.7
12	6.1	2.0	154.0	48.7	13.6
13	5.2	4.9	148.0	37.3	36.6
14	4.6	3.6	146.0	29.4	19.8
avg	6.2	3.7	155.4	50.8	27.2
dev	1.4	1.0	19.8	17.0	10.5
Nimi :702 ip 05/10/97 08:00					
Tienumero:vt4 Tieosuus: 3 Suunta: 1					
pro	2mku	2mru	väli	A2mk	A2mr
	mm	mm	cm	cm2	cm2
15	2.8	2.8	164.0	17.5	23.0
16	3.6	4.1	180.0	24.8	32.2
17	5.2	4.3	156.0	41.3	29.9
18	3.5	5.1	164.0	19.9	36.6
19	4.3	3.9	160.0	22.1	37.8
20	2.7	6.9	174.0	19.7	69.7
21	3.3	3.5	208.0	24.4	29.2
avg	3.6	4.4	172.3	24.2	36.9
dev	.9	1.3	17.8	8.0	15.3

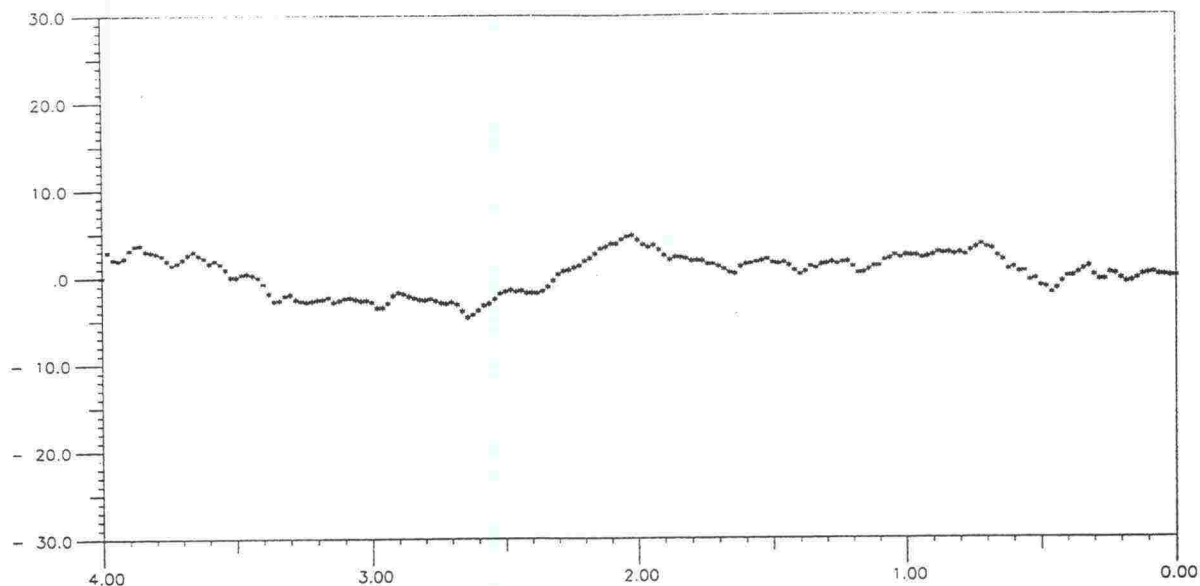


LIITE 5  
2 (4)

Koetie: \*

Koetieosuus: 2 Profiili:009

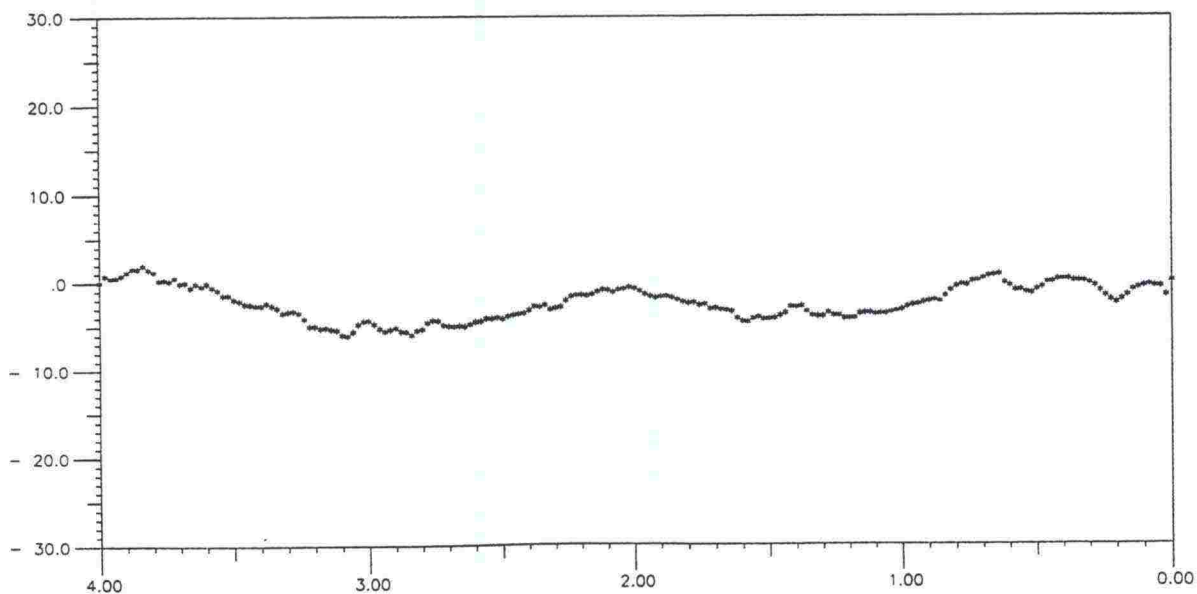
05/10/97 08:00



Koetie: \*

Koetieosuus: 2 Profiili:010

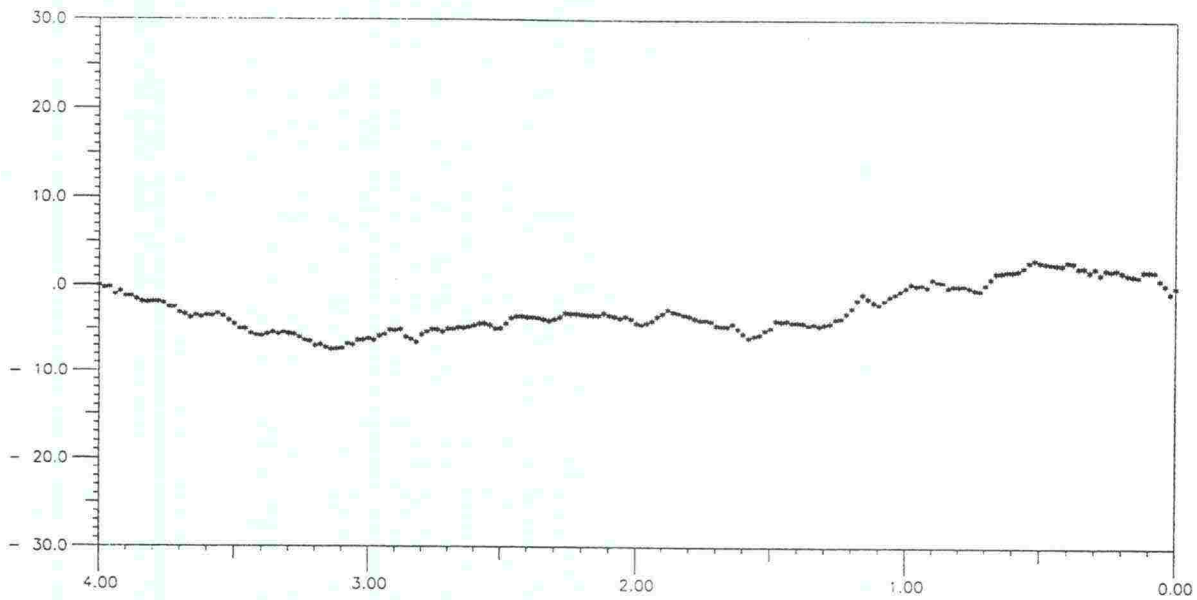
05/10/97 08:00



Koetie: \*

Koetieosuus: 3 Profiili:017

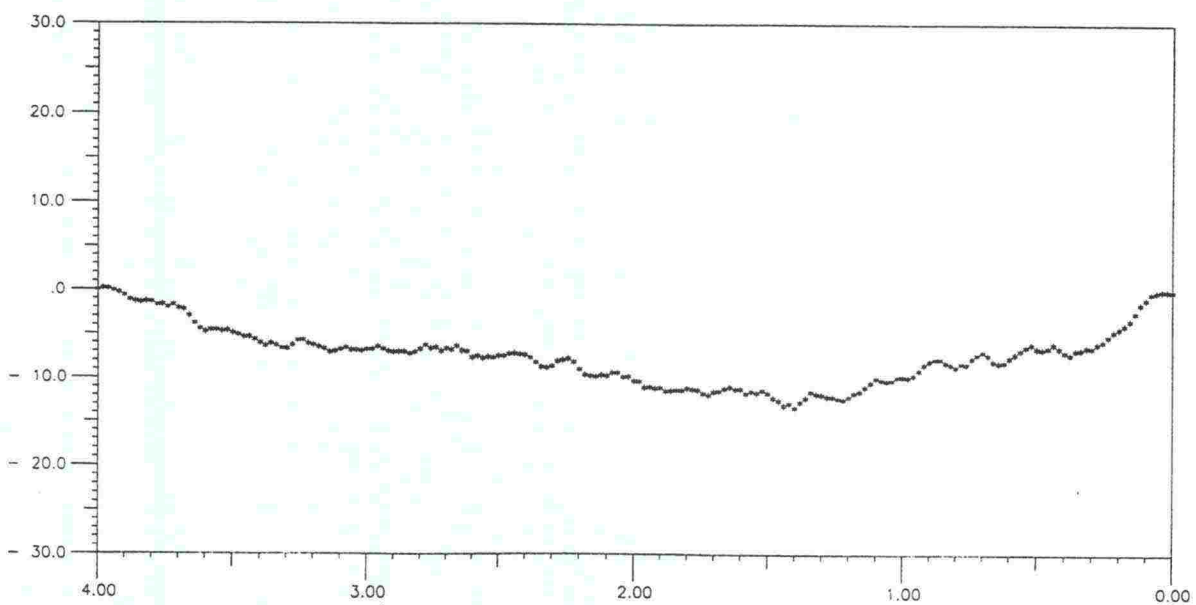
05/10/97 08:00



Koetie: \*

Koetieosuus: 3 Profiili:020

05/10/97 08:00



LIITE 5

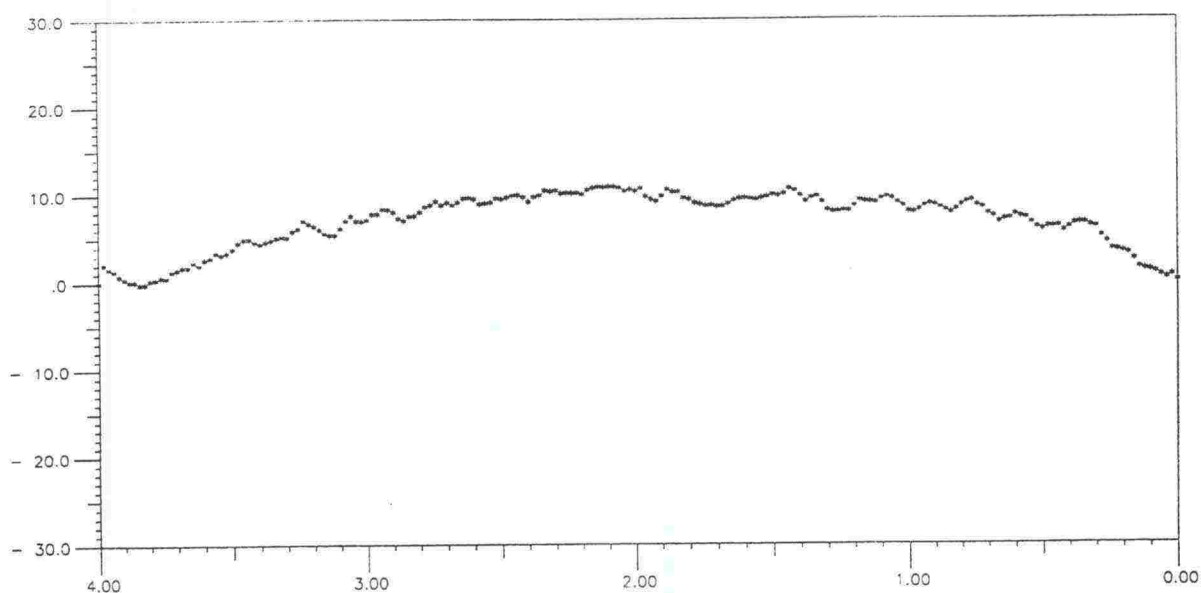
4 (4)

Koetie:

Koetieosuus: 6

Profiili:036

05/10/97 00:00

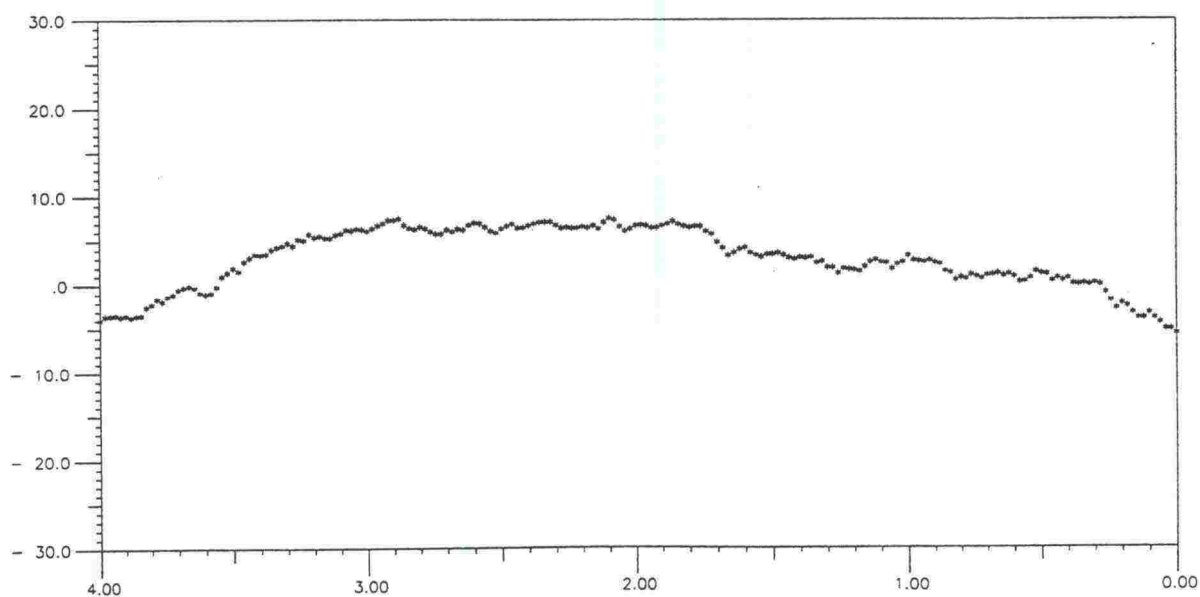


Koetie: '

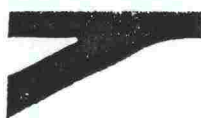
Koetieosuus: 6

Profiili:037

05/10/97 00:00







Kaakkois-Suomen tiepiiri  
Mikkelin laboratorio

PANK ry:n hyväksymä asfaltti - ja kiviaineslaboratorio  
50170 MIKKELI  
0204446633, FAX 0204446637, 0400 -154787

# MUOVIBITUMIN POLTTO UUTTOSUODATETUSTA

TYÖNO 713 - 97

## MASSANÄYTTEESTÄ .

Kaijanmäen sekoitusasema, Pertunmaa, massa ABK 32, näyte no 16

Sideainepitoisuus uuttosuodatuksessa 3,95 %

- tutki Kyösti Häkkinen

Sideainepitoisuus polton jälkeen yhteensä 4,56 %

- tutki Jouko Keituri

Uuttosuodatettu näyte poltettiin kolmessa erässä 650 asteen lämpötilassa n. yhden tunnin ajan. Jäähdytys 100 : n asteeseen lämpökaapissa.

Poltettaessa hävisi :

	alkupaino	hävisi g	hävisi %
filleri	124,0	5,0	4,0
0 - 6	638,7	4,4	0,7
6 - 32	1311,3	3,7	0,3
yhteensä	2074,0	13,1	0,6

Mikkeli 1.10.1997

*Jouko Keituri*  
Jouko Keituri

Tielaitos

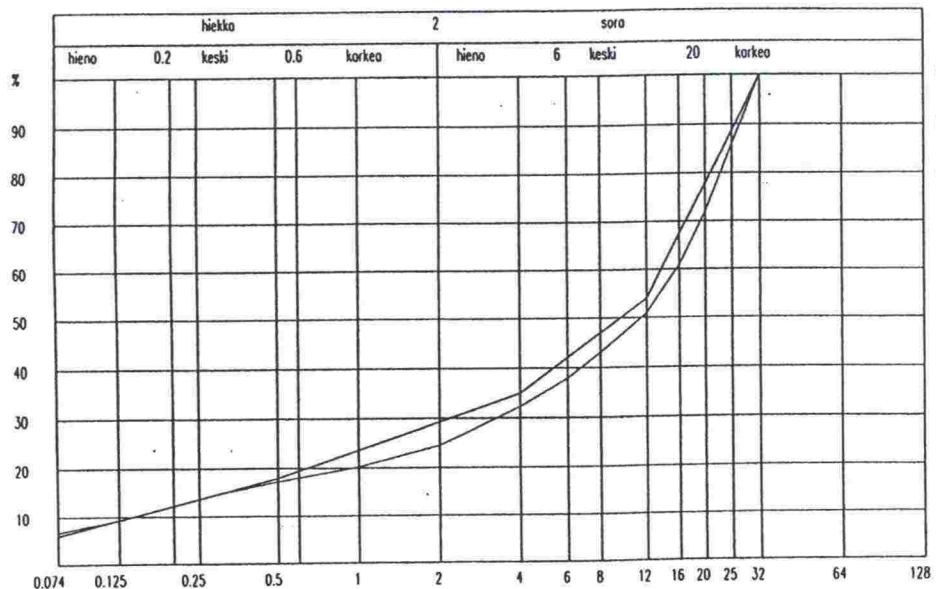
Näytelomake

Näyte: 16

Tyyppi: ABKO		Luokka: A		Päiväys: 25.09.97	
Päri 3		Urakka Urakka		Koneasema Kaijanmäki	
Urakoitsija Lemminkäinen		Ollaaja Tielaitos		Työ n:o Työ	
Tie VI	N:o 5	Tiesoa Sallahti - Seppälänjoki			Poolu 10440
Aasa	Ael	Losa	Lel	Kaisto	Sarja 2
Huomautuksia Muovibitumi keskikaista oik.reunaura <i>massa 150 c</i>					
	Side-%	0.074	0.125	0.25	0.5 1 2 4 6 8 12 16 18 20 25 32 40 50 64 128
Ohjearvo	4.50	6.00	18.00	35.00	54.00 100.00
Näyte	4.56	6.70	9.40	13.70	17.30 20.30 24.60 32.30 38.00 43.00 51.00 61.00 72.00 86.00 100.00

SIDEARINE % PESU 3,95

SIDEARINE % POLTTO 4.56



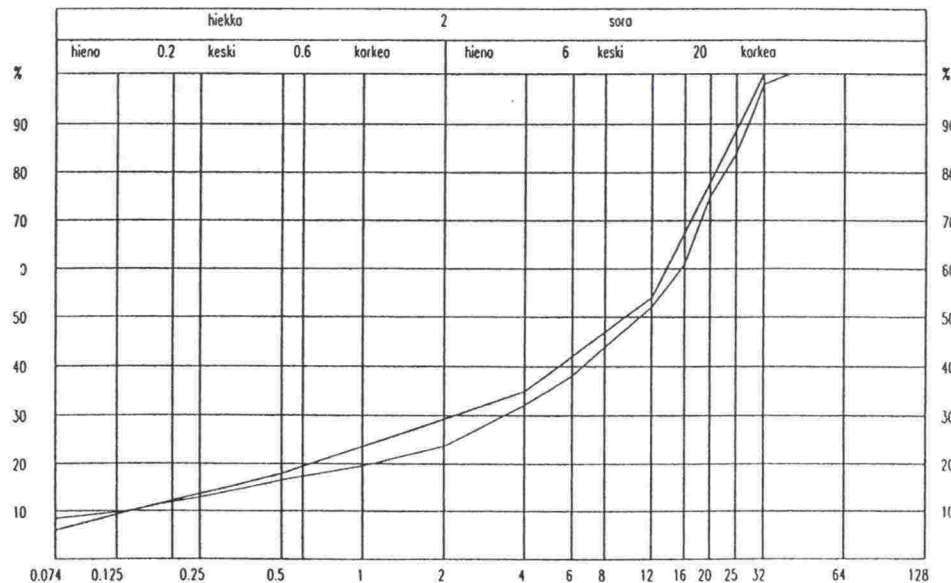
*J. Kallio*

Tielaitos

Näytelomake

Näyte: 17

Tyyppi: ABKO		Luokka: A		Päiväys: 25.09.97	
Päri 3		Urakka Urakka		Koneasema Kaijanmäki	
Urakoitsija Lemminkäinen		Ollaaja Tielaitos		Työ n:o Työ	
Tie VI	N:o 5	Tiesoa Sallahti - Seppälänjoki			Poolu 9937
Aasa	Ael	Losa	Lel	Kaisto Vasen	Sarja 2
Huomautuksia Muovibitumi massa + 154 c					
	Side-%	0.074	0.125	0.25	0.5 1 2 4 6 8 12 16 18 20 25 32 40 50 64 128
Ohjearvo	4.50	6.00	18.00	35.00	54.00 100.00
Näyte	4.58	8.50	9.80	12.90	16.50 19.50 23.80 32.10 38.20 44.00 52.00 61.00 75.00 84.00 98.00 100.00



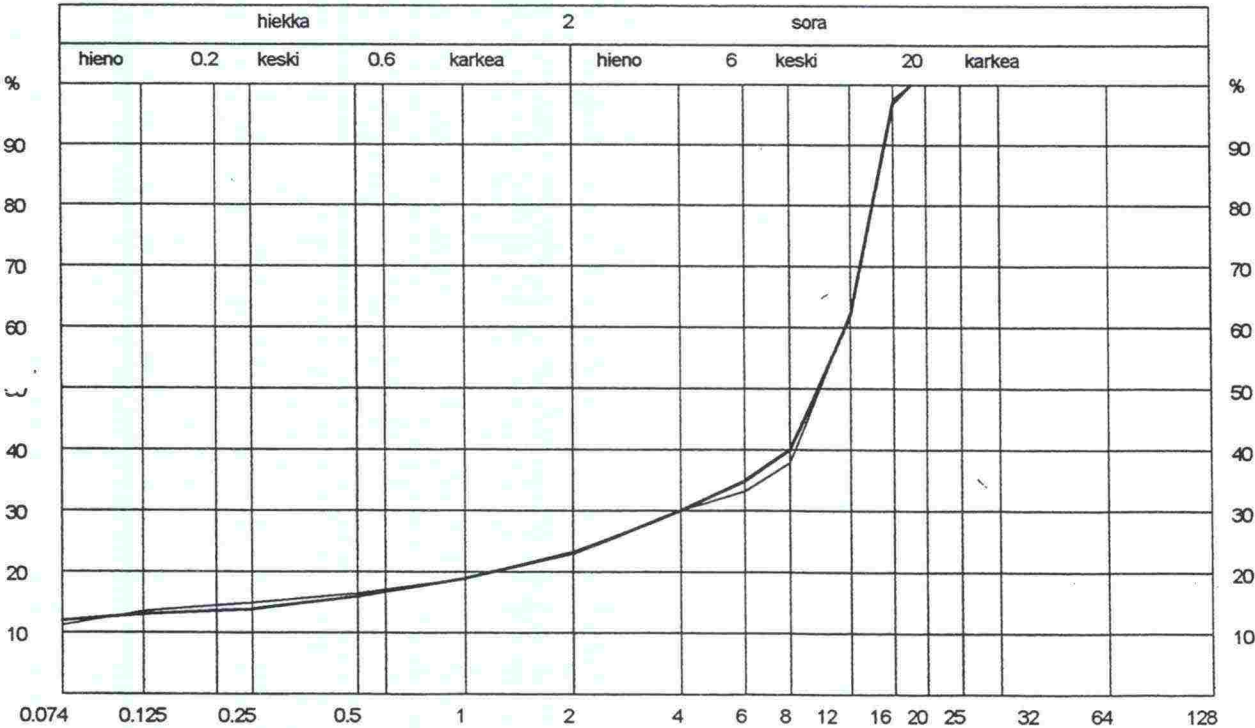
*J. Kallio*

LIITE 6  
2 (2)

Tielaitos

Näytetutkimustulokset

SMA16	Luokka A Koneasemalta 4 H 4 Joutjärvi Interbetoni OY Tielaitos Työ Vt 23 Tieosa																					
SMA16	Side-%	Ääyte-%	Vesi-%	0.074	0.125	0.25	0.5	1	2	4	6	8	12	16	18	20	25	32	40	50	64	128
Kpl	6	6		6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Keskisarvo	6.07	9.00		11.37	13.53	15.07	16.58	19.07	23.42	30.12	33.17	38.00	62.67	97.67	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Keskihajonta	0.06	0.00		0.64	1.01	1.07	0.99	1.10	1.79	2.51	1.72	1.26	1.75	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Poikkeamat Kpl	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Poikkeamat %	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TMP-%	0.41	0.00		1.69	100.00	100.00	0.75	100.00	2.92	11.13	100.00	0.89	0.73	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Alaohjearvo	5.90	9.00		10.00	13.00	14.00	13.00	19.00	19.00	26.00	35.00	35.00	57.00	97.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Alitus kpl	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alitus %	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Yläohjearvo	6.50	9.00		14.00	13.00	14.00	19.00	19.00	27.00	34.00	35.00	45.00	67.00	97.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Ylitys kpl	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ylitys %	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lask. ohje	6.20	9.00		12.00	13.00	14.00	16.00	19.00	23.00	30.00	35.00	40.00	62.00	97.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Alku kpl																						
Ohjearvo	6.20	9.00		12.00	13.00	14.00	16.00	19.00	23.00	30.00	35.00	40.00	62.00	97.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00





LIITE 7  
2 (2)

Nimi :*vertailu 20/10/97 08:00					
Tienumero: 00024 Tieosuus: 1 Suunta: 1					
pro	2mku	2mru	väli	A2mk	A2mr
	mm	mm	cm	cm2	cm2
1	2.8	2.3	170.0	15.8	12.0
2	4.4	3.5	156.0	37.4	20.2
3	3.3	3.3	166.0	33.7	25.8
4	3.1	4.4	202.0	20.5	26.1
avg	3.4	3.3	173.5	26.8	21.0
dev	.7	.9	19.9	10.3	6.6
~					
Nimi :*muovi1 20/10/97 08:00					
Tienumero: 00024 Tieosuus: 2 Suunta: 1					
pro	2mku	2mru	väli	A2mk	A2mr
	mm	mm	cm	cm2	cm2
5	4.1	5.3	122.0	66.2	49.2
6	4.7	4.3	194.0	71.7	41.6
7	5.1	3.8	222.0	51.8	31.0
8	5.4	4.7	160.0	90.0	32.3
avg	4.8	4.5	174.5	69.9	38.5
dev	.6	.6	43.2	15.8	8.6
~					
Nimi :*muovi2 20/10/97 08:00					
Tienumero: 00024 Tieosuus: 3 Suunta: 1					
pro	2mku	2mru	väli	A2mk	A2mr
	mm	mm	cm	cm2	cm2
9	6.4	3.0	184.0	96.3	28.7
10	2.5	4.4	240.0	11.0	31.9
11	5.8	5.6	172.0	69.0	31.6
12	6.1	2.9	160.0	60.4	19.9
avg	5.2	4.0	189.0	59.2	28.0
dev	1.8	1.3	35.4	35.6	5.6
~					
Nimi :*vertailu 20/10/97 08:00					
Tienumero: 00024 Tieosuus: 4 Suunta: 1					
pro	2mku	2mru	väli	A2mk	A2mr
	mm	mm	cm	cm2	cm2
13	4.6	3.0	194.0	41.7	15.9
14	4.7	5.1	176.0	60.7	39.6
15	3.8	3.5	162.0	28.0	27.6
avg	4.4	3.9	177.3	43.5	27.7
dev	.5	1.1	16.0	16.5	11.8
~					

PÄÄSTÖMITTAUKSET, Mittausolot ja keräysmenetelmät

Mittauspäivämäärä Kohde	28.7.97 vt 4	30.7.97 vt 4	6.8.97 vt 4	22.9.97 mt 610
Päällyste	Muovi-SMA	Muovi-SMA	Muovi-SMA	Muovi-PAB-B
Sideaineen koostumus: muovi-%/ mäntyöljypiki-%	13 / 17	12 / 18	10,5 / 19	6 / 14
Levityslämpötila, keskiarvo (°C)	181	178	176	149
<b>Huuru-, höyry- ja pölynäytteiden kerääminen</b>				
Keräysnopeus (l/min)				
- Resiproottoripumppu		13,7	13,7	10,5
- Kannettava akkupumppu (SKC 224-PCXR4)		3,2	3,2	
Keräysaika (tuntia)		4-5	4-5	2
<b>Tenax-näytteiden kerääminen</b>				
- Keräysteho (ml/min) kannettava akkupumppu	95	95	95	120
- Keräysaika (min)	10	5-10	5-10	8
<b>Aktiivihiilinäytteiden kerääminen</b>				
- Keräysteho (ml/min) kannettava akkupumppu	550	550	550	220
- Keräysaika (min)	5-10	5-10	5-10	8
<b>XAD-hartsinäytteet</b>				
Keräysteho (l/min)				
- Resiproottoripumppu		5,6 / 8,0	5,6 / 8,0	
- Akkupumppu		3,4	3,4	4,3
Keräysaika (min)		70-280	70-280	
<b>Mittausolot</b>				
Sää	22 °C aurinkoinen	19-20 °C pilvinen- puolipilvinen	23 °C selkeää	5-7 °C pilvinen- sadekuuroja- selkeää
Tuuli (m/s)	5	3-4	2	6-7
Ilmankosteus	63	70-75	43	76-85

Näytteet	Analysoitavat ainesosat	Analyysimenetelmä
Huuru-, höyry- ja pöly- näytteet	Kokonaispöly Bitumihuurut	Uutto hiilitetrakloridiin (3 ml) ultraäänihauteessa (2 h). Fourier Transmission Infrapunaspektrometri (kaliumbromidikyvetti, V=1,5 ml). Aaltolukualueella 2800...3000 cm <sup>-1</sup> . Vertailuaineena polttoöljy. Menetelmän toteamisraja 0,02 mg/näyte.
Tenax- näytteet	Helposti haihtuvien hiilivetyjen (VOC) pitoisuudet: heksanaali, ksyleeni, styreeni, kamfeeni, betapineeni, limoneeni, 1,2-diklooribentseeni, tridekaani, tetradekaani, pentadekaani, kloroformi, bentseeni, trikloorieteeni.  VOC-pitoisuudet: propyylibentseeni, 1-metyyli-4-(1-metyylietyyli)-sykloheksaani, 1-metyyli-4-(1-metyylietyyli)-bentseeni, butyylibentseeni, undekaani, pentyylibentseeni, dodekaani, 2,6-dimetyyliundekaani, heksyylibentseeni, heptylibentseeni, oktylibentseeni, heksadekaani.	GC/MS (kaasukromatografi HP 5890, massaselektiivinen detektori HP 5970) Thermal Cold Trap (TCT) kolonnina J&W Scientific DB 1701 (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm ) SCAN-ajona. Tunnistettiin ja arvioitiin massaspektrien avulla.
Hiiliputki- näytteet	Helposti haihtuvien hiilivetyjen (VOC) pitoisuudet: heksanaali, ksyleeni, styreeni, kamfeeni, betapineeni, limoneeni, 1,2-diklooribentseeni, tridekaani, tetradekaani, pentadekaani.  VOC-pitoisuudet: propyylibentseeni, 1-metyyli-4-(1-metyylietyyli)-sykloheksaani, 1-metyyli-4-(1-metyylietyyli)-bentseeni, butyylibentseeni, undekaani, pentyylibentseeni, dodekaani, 2,6-dimetyyliundekaani, heksyylibentseeni, heptylibentseeni, oktylibentseeni, heksadekaani.	GC/MS (kaasukromatografi HP 6890, massaselektiivinen detektori HP 5973) kolonnilla HP-5MS (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm ) SCAN-ajona.  Tunnistettiin massaspektrien avulla.
XAD- harts- näytteet	Polyaromaattiset hiilivedyt (PAH): asenaftyleeni, asenafteni, fluoreeni, fenantreeni, antraseeni, fluoranteeni, pyreeni, benzo(a)antraseeni, kryseeni, benzo(b&k)fluoranteeni, benzo(a)pyreeni, indeno(1,2,3)pyreeni, dibenzo(ah)antraseeni, benzo(g,h,i)peryleeni (National Institute for Occupational Safety and Health'in listalta)  Kloorifenolit	GC/MS (kaasukromatografi HP 6890, massaselektiivinen detektori HP 5973) kolonnilla HP-5MS (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm ) SIM-moodilla. Menetelmän määritysraja PAH-yhdisteille ja kloorifenoleille 1-5 ng/isomeeri/näyte.
XAD- harts- näytteet	Polyklooratut dioksiinit ja furaanit	Korkeaerotteinen massaspektrometri VG 70 SE, kolonnina DB-Dioxin (60 m x 0,25 mm I.D.faaasin paksuus 0,15 µm), resoluutiolla 10000. Määritysraja on 5-30 pg/isomeeri/näyte.



Taulukko 1. Vertailua Pohjoismaissa ja muissa maissa mitatuista tienpäälläytäjien arvoista.

	Bitumi- huuru (mg/m <sup>3</sup> )	Koko- naispöly (mg/m <sup>3</sup> )	Haihtu- vat hiili- vedyt mg/m <sup>3</sup>	PAH:t μm/ m <sup>3</sup>	Viite
<b>Suomi</b>					
AB	0,40		3,10	BaP <0,05	Virtamo <i>et al</i> (1979)
AB	0,10	0,40	4,50	1,60	Työterveyslaitos (1993)
KAB	0,08	0,32	0,91	0,27	Työterveyslaitos (1993)
Muovi-SMA	2,34	4,48	1,83	4,14	Paananen (1997)
Muovi-PAB	2,00	3,18	0,85	3,46	Paananen (1997)
<b>Tanska</b>					
AB	1,10				IARC (1978)
<b>Muut maat</b>					
AB	<0,01 - 0,90			3,1-28,4	O'C. Gunkel (1989)
AB	0,20				Brandt <i>et al</i> (1985)

# LIITE 9

## 2 (2)

Taulukko 2. Henkilökohtaiset näytteenottimet, vertailua Pohjoismaissa ja muissa maissa mitatuista arvoista.

	Bitumi huuru (mg/m3)	Koko- nais- pöly (mg/m3)	Haihtu- vat hiili- vedyt mg/ m <sup>3</sup>	PAH:t um/ m <sup>3</sup>	Viite
<b>Suomi</b>					
Lev.kulj/ päällä	0,37	0,48	5,09	*3,40	Työterveyslaitos (1993)
perämies	0,13	0,39	2,62	*3,31	"
kolamies	0,11	0,25	2,46	*2,08	"
<b>MuoviSMA</b>					
Lev.kulj/ päällä	2,34	11,45	2,96	10,47	Paananen (1997)
perämies		2,54	1,69	2,45	"
kolamies		0,63	0,82	1,45	"
<b>MuoviPAB</b>					
Lev.kulj/ päällä	2,00	3,18	0,84	3,46	Paananen (1997)
perämies			0,99		"
kolamies			0,72		"
<b>Tanska</b>					
Lev.kulj/ päällä	1,10				Asfalt (1980)
perämies	0,70				"
kolamies	0,40				"
<b>Norja</b>					
Lev.kulj/ päällä	0,50		6,80	41,90	Lien (1992)
perämies					
kolamies	0,20		4,20	24,00	"
<b>Ruotsi</b>					
Lev.kulj/ päällä			4,83		Ekström (1991)
perämies	0,38		3,70	5,95	"
kolamies			1,34		"

\* arvot sisältävät naftaleenin

ISBN951-726-456-9  
ISSN0788-3722  
TIEL 3200527